

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Bc. Lukáš Černoch

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Realizace měřicí stanice doby odezvy teplotního senzoru

Measuring Station Realization for Response Time
Measurment of Temperature Sensor

2010

Bc. Lukáš Černoch

!!! List zadání !!!

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Lukáš Černoch

Datum odevzdání bakalářské práce: 7.5.2010

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval těm, kteří mi s vytvořením této diplomové práce jakkoliv pomáhali. Především pak vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdenku Slaninovi Ph.D. , za odborné rady bez nichž by tato diplomová práce nevznikla. Dále bych rád poděkoval panu Davidu Kafkovi a ostatním spolupracovníkům z firmy Continental za jejich praktickou pomoc. Na závěr bych rád poděkoval svým rodičům a přátelům za podporu po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá měřením doby odezvy teplotního senzoru, při náhlé změně okolních podmínek. K tomuto účelu byla vytvořena manipulační jednotka z pneumatických komponentů od firmy FESTO. Pneumatický dvouosý systém přemísťuje testovaný senzor teploty mezi dvěma teplotními lázněmi HUBER s odlišnou teplotou silikonového oleje. K řízení pneumatických pohonů a měření teploty byla použita měřicí USB karta NI6009. Tato karta je připojena k řídicímu PC. Pro ovládání manipulační jednotky byly použity digitální vstupy a výstupy. K vyhodnocování doby odezvy se měří aktuální napětí na odporovém snímači teploty pomocí analogového vstupu karty. Kompletní řídicí software je vytvořen prostřednictvím National Instruments LabVIEW 2009. Měřená data jsou ukládána do souborů. První obsahuje hodnoty napětí na teplotním senzoru v čase a druhy doby odezvy.

Abstract

This thesis focuses on measuring response time of a temperature sensor, when surrounding conditions sudden change. For this purpose a handling unit was created from pneumatic components made by the FESTO Company. This pneumatic two-axle system moves a tested temperature sensor between two thermal HUBER baths, each with silicone oil of a different temperature. An USB card NI6009 is utilised to operate pneumatic drives and measure the temperature. This card is connected to the controlling PC. Digital inputs and outputs are used to operate the handling unit. The response time assessment is done by measuring actual tension on the resistance reader of temperature by means of an analogue input of the card. The entire controlling software is created with National Instruments LabVIEW 2009. The measured data is stored into files. The first one contains tension values on the temperature sensor in time and types of response times.

Klíčová slova

Pneumatický dvouosý systém, Teplotní lázně HUBER, Senzor teploty, Doba odezvy, National Instruments LabVIEW 2009

Key Words

Pneumatic two-axle system, Temperature baths HUBER, Temperature sensor, Response time, National Instruments LabVIEW 2009

Seznam použitých symbolů a zkratek

PTC	- Positive Temperature Coefficient – kladný teplotní koeficient
NTC	- Negative Temperature Coefficient – záporný teplotní koeficient
RSE	- Reference Single-Ended – základní připojení
NRSE	- Non-reference Single-Ended – doplňkové připojení
DAC	- Digital-analog convertor – digitálně analogový převodník
ADC	- Analog-digital convertor – analogově digitální převodník
CMOS	- Complementary Metal Oxide Semiconductor – logické obvody realizované unipolárními tranzistory
TTL	- Transistor transistor logic – logické obvody na bázi tranzistorů
LVTTL	- Low voltage transistor transistor logic – nízko napět'ové logické obvody na bázi tranzistorů
ACH0	- Analog channel 0 – analogový kanál 0
AI	- Analog input – analogový vstup
AIGND	- Analog ground – analogová zem
DI	- Digital input – digitální vstup
DO	- Digital output – digitální výstup
VPC	- modely lázní HUBER umožňují kontinuální nastavení otáček sacího a tlačného čerpadla

Obsah

1. Úvod	1
2. Teplotní senzory	2
2.1 Kovové odporové snímače teploty	2
2.1.1 Platinové snímače.....	3
2.1.2 Niklové snímače.....	4
2.2 Polovodičové odporové snímače teploty	5
2.2.1 Negastor NTC	6
2.2.2 Pozistor PTC	8
2.3 Termoelektrické snímače teploty.....	8
2.4 Statické vlastností snímačů teploty.....	9
2.5 Dynamické vlastností snímačů teploty.....	11
3. Popis stávajícího modelu	14
3.1 Současný model měření doby odezvy teplotních senzorů	14
3.2 Teplotní lázně HUBER CC 410	15
4. Realizace měřicí stanice doby odezvy teplotního senzoru.....	17
4.1 Návrh pneumatického systému.....	17
4.1.1 Horizontální osa x	18
4.1.2 Vertikální osa y1	21
4.1.3 Vertikální osa y2	23
4.2 Výsledný návrh pneumatického systému	25
4.3 Popis konstrukce.....	28
4.4 Měřicí a řídicí elektronika	29
4.4.1 Měřicí karta USB 6009	29
4.4.2 Elektronický převodník.....	31
5. Návrh a popis řídicí aplikace	35
5.1 Struktura řídicí aplikace.....	35
5.2 Návrh řídicího softwaru.....	35
5.2.1 Řízení pneumatiky	37
5.2.2 Čtení AI, vyhlazování	46
5.2.3 Čtení a zápis DI/DO	48
5.2.4 Ukládání dat	49
6. Popis uživatelského rozhraní	50
7. Analýza naměřených dat.....	52
7.1 Měření 50 cyklů na NTC 43-5.....	52
7.2 Vliv stálosti proudění na měření.....	54
7.2.1 Měření na NTC 43-4	55
7.2.2 Měření na NTC 43-5	55

8. Závěr	57
Použitá literatura	59
Seznam příloh.....	60

Seznam obrázků

Obr. 1. Závislost odporu čidla Pt100 na teplotě.....	3
Obr. 2. Dovolené tolerance průmyslových platinových měřicích snímačů podle normy IEC 751.....	4
Obr. 3. Závislost odporu PTC a NTC na teplotě.....	6
Obr. 4. Obvody pro praktické měření na NTC	7
Obr. 5. Zapojení Wheatstonových můstků.....	7
Obr. 6. Termoelektrický článek	8
Obr. 7. Obecná statická charakteristika	10
Obr. 8. Přechodová charakteristika 1. řádu.....	12
Obr. 9. Přechodová charakteristika 2. řádu.....	12
Obr. 10. Fázorový diagram	13
Obr. 11. Současný model	14
Obr. 12. Teplotní cirkulační lázeň HUBER CC 410.....	15
Obr. 13. Zobrazení požadovaného přesouvání pneumatického systému	18
Obr. 14. Umístění jednotlivých os z bočního pohledu.....	18
Obr. 15. Zapojení horizontální osy x	19
Obr. 16. Graf pozice a rychlosti horizontální osy x v závislosti na čase	20
Obr. 17. Graf akcelerace a tlaků horizontální osy x v závislosti na čase	21
Obr. 18. Zapojení vertikální osy y1	22
Obr. 19. Graf pozice a rychlosti vertikální osy y1 v závislosti na čase	23
Obr. 20. Graf akcelerace a tlaků vertikální osy y1 v závislosti na čase.....	23
Obr. 21. Zapojení vertikální osy y2	24
Obr. 22. Graf pozice a rychlosti vertikální osy y2 v závislosti na čase	25
Obr. 23. Graf akcelerace a tlaků vertikální osy y2 v závislosti na čase.....	25
Obr. 24. Krokový diagram pneumatických pohonů.....	26
Obr. 25. Celkové zapojení pneumatického systému	27
Obr. 26. Konstrukce pro pneumatický systém	28
Obr. 27. Obrázek celého systému	29
Obr. 28. Měřicí karta USB NI 6009.....	30
Obr. 29. Zapojení elektronického převodníku	33
Obr. 30. Kovový konstrukční box.....	34
Obr. 31. Struktura řídicí aplikace.....	35
Obr. 32. Blokové schéma řídicího softwaru	36
Obr. 33. Petriho síť automatického režimu s manuálním spouštěním	38
Obr. 34. Petriho síť automatického režimu s časovým spouštěním.....	41
Obr. 35. Petriho síť manuálního režimu ovládání pneumatiky	44
Obr. 36. Blokové schéma čtení AI.....	46
Obr. 37. Blokové schéma čtení/zapisování DI/DO	48
Obr. 38. Blokové schéma ukládání naměřených dat.....	49
Obr. 38. Uživatelské menu.....	50
Obr. 41. Graf závislosti napětí měřeného senzoru NTC 43-5 na čase	53
Obr. 42. Graf závislosti doby odezvy na cyklu měření.....	53
Obr. 43. Histogram naměřených hodnot doby odezvy pro 50 cyklů senzoru 43-5.....	54

Seznam tabulek

Tab. 1. Technické parametry HUBER CC 410.....	16
Tab. 2. Tabulka vlastností horizontálního (x) pneumatického pohonu.....	20
Tab. 3. Tabulka vlastností vertikálního (y1) pneumatického pohonu.....	22
Tab. 4. Tabulka vlastností vertikálního (y2) pneumatického pohonu.....	24
Tab. 5. Tabulka absolutní přesnosti na plném rozsahu (standardní zapojení)	31
Tab. 6. Tabulka absolutní přesnosti na plném rozsahu (diferenciální zapojení).....	31
Tab. 7. Tabulka napěťových úrovní digitálních vstupů/výstupů	31
Tab. 8. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě automatického režimu s manuálním spouštěním	39
Tab. 9. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě automatického režimu s časovým spouštěním	42
Tab. 10. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě ručního ovládání pneumatiky.....	45
Tab. 11. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 pro 50 cyklů.....	54
Tab. 12. Tabulka naměřených hodnot doby odezvy pro NTC 43-4.....	55
Tab. 13. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-4 s konst. čerpadlem	55
Tab. 14. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-4 bez konst. čerpadla	55
Tab. 15. Tabulka naměřených hodnot doby odezvy pro NTC 43-5.....	56
Tab. 16. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 s konst. čerpadlem	56
Tab. 17. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 bez konst. čerpadla	56

1. Úvod

Teplota je jedna z nejdůležitějších termodynamických veličin, které určují stav hmoty. Tato veličina se objevuje v mnoha fyzikálních zákonech. Existuje jen velmi málo vlastností látek, které by nebyly teplotně závislé. Teplota je jednou z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé.

Hlavním cílem této diplomové práce je realizovat měřicí stanici doby odezvy teplotního senzoru za pomoci dvouosého pneumatického systému. Kompletní měřicí stanice je umístěna v místnosti pro testování teplotních senzorů ve firmě Continental ve Frenštátě pod Radhoštěm. Pneumatický systém zakoupený od firmy Festo, má za úkol přesouvat teplotní senzor mezi dvěma lázněmi HUBER s odlišnou teplotou silikonového oleje. Tímto jsou vytvořeny ideální podmínky pro měření doby odezvy teplotního senzoru. Celá měřicí stanice je řízena pomocí měřicí multifunkční karty USB NI 6009. Pomocí digitálních vstupů a výstupů se řídí horizontální a vertikální pohony. Na analogovém vstupu karty se měří napětí na testovaném odporovém senzoru teploty. Pomocí hodnoty napětí na odporovém snímači teploty a umístění senzoru v určité lázni se vypočítávají doby odezvy. Naměřená data s informacemi o měření se ukládají do textových souborů.

Pro správné testování snímačů teploty je nutné mít základní teoretické znalosti jednotlivých typu senzorů a jejich základní vlastnosti. Této problematice se zabývá 2. kapitola obsahující popis odporových, polovodičových a termoelektrických snímačů teploty. Nejdůležitější částí druhé kapitoly jsou dynamické vlastnosti, ve kterých je popsán termín doba odezvy teplotních senzorů. Nejčastěji testované senzory NTC a PTC jsou popsány v kapitole 2.2. Stávající model měření má několik nedostatků, které jsou popsány v kapitole 3.1. V kapitole 3.2 jsou popsány vlastnosti teplotních lázní HUBER zajišťující ideální podmínky pro měření.

K zajištění stálých podmínek při přesunu a ponoření teplotního senzoru mezi lázněmi slouží dvouosý pneumatický systém. Návrh tohoto pneumatického systému je popsán v kapitole 4.1. Všechny navrhnuté pneumatické pohony jsou nasimulovány v softwaru Propneu. K upevnění pneumatického systému je vytvořena konstrukce popsána v kapitole 4.3. Pro komunikaci mezi koncovými snímači pneumatických pohonů, pneumatických elektromagnetických ventilů a řídicím softwarem je použita měřicí karta USB NI 6009. Vlastnosti této měřicí karty jsou popsány v kapitole 4.4. V této kapitole je také popsán elektronický převodník upravující napěťové úrovně. Celá 5. kapitola popisuje strukturu řídicí aplikace a její jednotlivé části. Kapitola 6. se zabývá popisem uživatelského rozhraní.

Po vytvoření měřicí stanice došlo k testování zvolených senzorů teploty. Kapitola 7.1 obsahuje statistické vyhodnocení padesáti měřených cyklů na jednom senzoru teploty. Následující dvě kapitoly 7.2 a 7.3 ukazují rozdílné hodnoty naměřených dat, při použití přípravku pro konstantní proudění silikonového oleje a bez použití tohoto přípravku.

2. Teplotní senzory

Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor teploty je ekvivalentní pojmu snímač teploty (samostatná konstrukční součást teploměrového zařízení, která obsahuje teplotní čidlo), ale také pojmu čidlo teploty (část snímače převádějící teplotu na jinou vhodnou fyzikální veličinu). V této části textu jsou popsány některé základní typy kovových odporových (platinové, niklové), polovodičových odporových (PTC, NTC) a termoelektrických snímačů teploty, a popis nejdůležitějších statických a dynamických vlastností. [1], [2]

2.1 Kovové odporové snímače teploty

Principem odporových kovových čidel teploty je závislost odporu kovu na změně teploty okolí. Základní materiálovou konstantou je teplotní součinitel odporu α (K^{-1}), pro který lze napsat rovnici

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} = \frac{d(\ln R)}{dt} \quad (2.1)$$

U kovů je jediným teplotně závislým parametrem relaxační čas, jehož hodnota je řádově 10^{-13} s. Pro malý rozsah teplot 0°C až 100°C lze používat s určitou nejistotou lineární vztah

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t), \quad (2.2)$$

kde R_0 je odpor čidla při teplotě 0°C . Následně pak lze odvodit střední hodnotu teplotního součinitele α

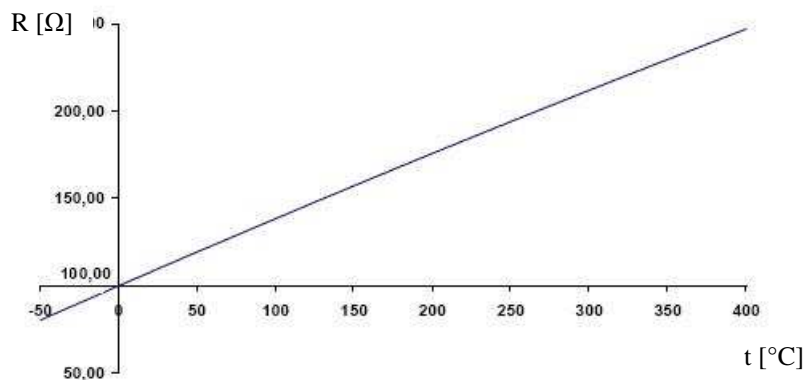
$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{\Delta t \cdot R_0} \quad (2.3)$$

Dalším základním parametrem u odporových snímačů teploty je redukovaný odpor, jedná se o poměr odporu při teplotě 100°C a při teplotě 0°C . Tato hodnota poměru elektrického odporu se označuje písmenem W a je dána vztahem [1], [2]

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}. \quad (2.4)$$

2.1.1 Platinové snímače

Jedním z nejzákladnějších materiálů pro výrobu odporových snímačů je platina, tato chemická látka se vyznačuje chemickou netečností. Je tedy odolná vůči různým chemickým vlivům, jako je např. koroze, tyto senzory lze také využít k měření teplot různých vysoce reaktivních kapalných látek. Další významnou vlastností platiny je vysoká teplota tání, tyto snímače jsou tedy vhodné pro měření vysokých teplot. Nevýhodou platinových snímačů teploty je jejich vysoká cena. U platinových snímačů teploty (Pt100) je hodnota redukovaného odporu $W_{100} = 1,385$. Na obr. 1. je znázorněna charakteristika závislosti odporu snímače Pt100 na teplotě. Platinové senzory se vyrábí drátkovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. V prvním případě je drátkový měřicí odpor tvořen spirálovitě stočeným tenkým drátkem, naneseným na keramiku nebo sklo. Odporů vyráběných tenkovrstvou technologií, při níž se platinový odpor vytvoří na ploché korundové destičce technikou napařování a iontového leptání, mají rychlejší odezvu než odporů drátkové. Mají obvykle vyšší odpor a jsou levnější. Drátkové odporů jsou však časově stálejší.



Obr. 1. Závislost odporu čidla Pt100 na teplotě [22]

Platinové snímače teploty se vyrábějí s označením Pt XXX, kde XXX označuje hodnotu odporu při 0°C. Jednotlivé platinové odporů se vyrábějí v řadě 50, 100, 200, 500, 1000 a 2000Ω. Takže například u snímače Pt 100 je odpor při 0°C 100Ω. Výpočet odporu při dané teplotě pro kladné a záporné rozsahy teploty se různí, obecně jej lze popsat vztahem

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 \cdot (t - 100)], \quad (2.5)$$

kde R_0 je odpor při teplotě 0°C,

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} K^{-1},$$

$$B = -5,80195 \cdot 10^{-7} K^{-2},$$

$$C = -4,27350 \cdot 10^{-12} K^{-4} \quad \text{pro } t < 0^\circ C,$$

$$C = 0 \quad \text{pro } t > 0^\circ C.$$

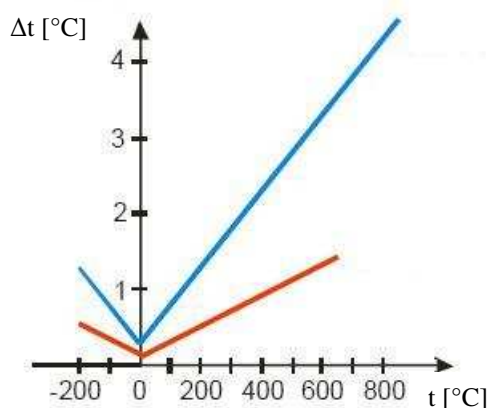
Z výše uvedeného vyplývá, že pro kladné hodnoty měřené teploty je výpočet odporu platinového snímače podle

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2] \quad (2.6)$$

Platinové měřicí odpory se dělí do dvou tolerančních tříd. Třída A je stanovena pro rozsah teploty od -200°C do teploty 650°C (obr. 2.). Třída B se vyznačuje teplotním rozsahem od -200°C do teploty 850°C. Pro dovolené tolerance platinových měřicích odporů dle normy IEC 751 platí podmínky: [1], [2], [11]

$$\text{Třída přesnosti A: } \Delta t = \pm(0,150 + 0,002 \cdot |t|)(^\circ\text{C}), \quad (2.7)$$

$$\text{Třída přesnosti B: } \Delta t = \pm(0,300 + 0,005 \cdot |t|)(^\circ\text{C}) \quad (2.8)$$



Obr. 2. Dovolené tolerance průmyslových platinových měřicích snímačů podle normy IEC 751 [22]

2.1.2 Niklové snímače

Tyto snímače teploty se vyznačují velkou citlivostí a rychlou odezvou na změnu teploty. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah. Oproti platinovým snímačům mají značnou nelinearitu, horší dlouhodobou stabilitu a menší odolnost proti působení prostředí. Z těchto důvodů jsou tyto snímače využívány v méně náročných podmínkách. Výhodou oproti platinovým snímačům je jejich nižší cena. Podobně jako u platinových snímačů, jsou niklové snímače vyráběny v obdobně řadě. Základní hodnoty vyráběných niklových snímačů teploty jsou 100, 200, 500, 1000 a 2000Ω. Nejčastěji se vyrábějí tenkovrstvou technologií. Odpor takového snímače lze v závislosti na teplotě vyjádřit podle vztahu

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^4 + D \cdot t^6], \quad (2.9)$$

kde jednotlivé koeficienty jsou:

$$A = 5,485 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1},$$

$$B = 6,65 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2},$$

$$C = 2,805 \cdot 10^{-11} K^{-4},$$

$$D = 2,0 \cdot 10^{-17} K^{-6}.$$

Obdobně jako u platinových snímačů mají i niklové snímače své dovolené tolerance [1], [2]

$$\Delta t = \pm(0,400 + 0,007 \cdot |t|)(^{\circ}C) \quad \text{pro } t > 0^{\circ}C, \quad (2.10)$$

$$\Delta t = \pm(0,400 + 0,028 \cdot |t|)(^{\circ}C) \quad \text{pro } t < 0^{\circ}C. \quad (2.11)$$

2.2 Polovodičové odporové snímače teploty

U polovodičových odporových snímačů s rostoucí teplotou roste koncentrace volných elektronů a elektrický odpor materiálů se snižuje. Při výrobě polovodičových součástek se snažíme tomuto jevu vyhnout, u snímačů teploty se však tento jev při výrobě naopak záměrně zvýrazňuje. Závislost koncentrace nosičů náboje n na teplotě je dána podle vztahu

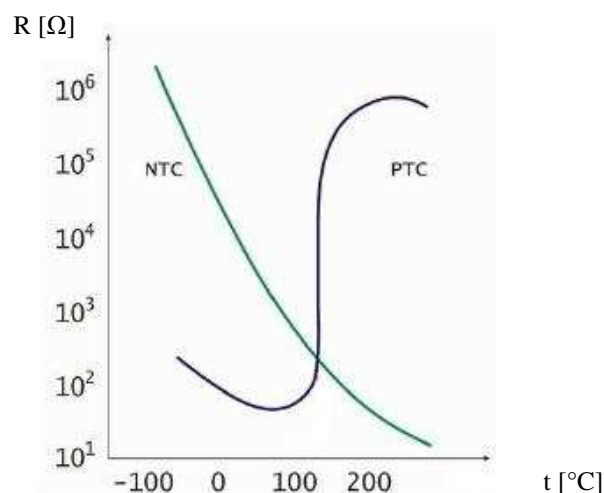
$$n = e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (2.12)$$

kde ΔE je šířka mezery mezi energetickými hladinami, k je Boltzmannova konstanta. Pro teplotní součinitel odporu platí

$$\alpha \approx \frac{d(\ln n)}{dT} \approx -\frac{\Delta E}{2kT} \cdot \frac{1}{T}, \quad (2.13)$$

pro polovodič obecně platí, že teplotní součinitel odporu polovodiče α je záporný.

Polovodičové odporové snímače teploty lze rozdělit na termistory a monokrystalické odporové senzory. Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Keramická technologie umožňuje výrobu termistoru do různých tvarů, jako např. disk, kapička, váleček. Výhodami termistoru jsou velká citlivost, malé rozměry, dále pak snadný převod měřeného odporu na elektrické napětí nebo proud. Značnou nevýhodou je nelineární charakteristika. Termistory se dělí na dvě skupiny, pozistor PTC (kladný teplotní součinitel odporu) a negastor NTC (záporný teplotní součinitel odporu). [1], [2]



Obr. 3. Závislost odporu PTC a NTC na teplotě [22]

2.2.1 Negastor NTC

Negastor je odporová součástka, která má velký záporný teplotní součinitel odporu, vyrábějí se práškovou technologií z kysličníku kovů např. chrom, kobalt, měď, železo. Běžné teplotní rozsahy negastorů jsou od -50°C do 150°C , v extrémních případech však lze docílit i rozsahu od $4,2^{\circ}\text{C}$ do 1000°C .

Při zanedbatelném ohřevu negastoru procházejícím elektrickým proudem platí

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \text{ po logaritmování } \ln R_T = A + \frac{B}{T}, \text{ kde} \quad (2.14)$$

A je konstanta závislá na geometrickém tvaru a materiálu termistoru,

B teplotní konstanta dána materiálem termistoru (K),

T termodynamická teplota (K).

Běžně není konstanta A uváděna, pak lze měřený odpor negastoru popsat závislostí měřeného odporu, vycházejícího ze známého odporu a teploty

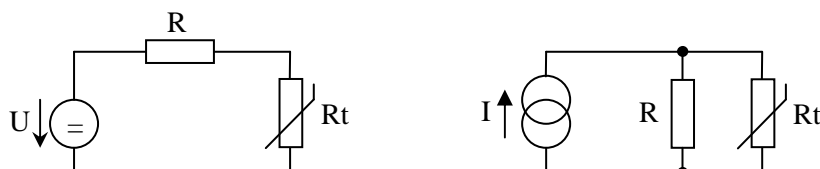
$$R_1 = R_2 e^{B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = R_2 e^{\left[\frac{B(T_2 - T_1)}{T_1 T_2} \right]}, \quad (2.15)$$

kde R_1 je odpor při teplotě T_1 , R_2 je odpor při teplotě T_2 . Obvykle se za teplotu T_2 dosazuje referenční hodnota 25°C . Teplotní konstanta B, která je dána materiálem termistoru se pohybuje v rozmezí od 1500K do 7000K a to pro vyráběné negastory v rozmezí od 1Ω do $1\text{M}\Omega$. Při měření teplot od 0°C do 100°C a po provedení linearizace, se naměřená data pohybují v rozmezí $\pm 1^{\circ}\text{C}$ od linearizované křivky. Pro měření teplot v širších rozsazích je pak toto rozmezí značně vyšší.

Materiál lze kromě teplotní konstanty B popsat také standardní teplotním součinitelem α , pro jehož výpočet platí

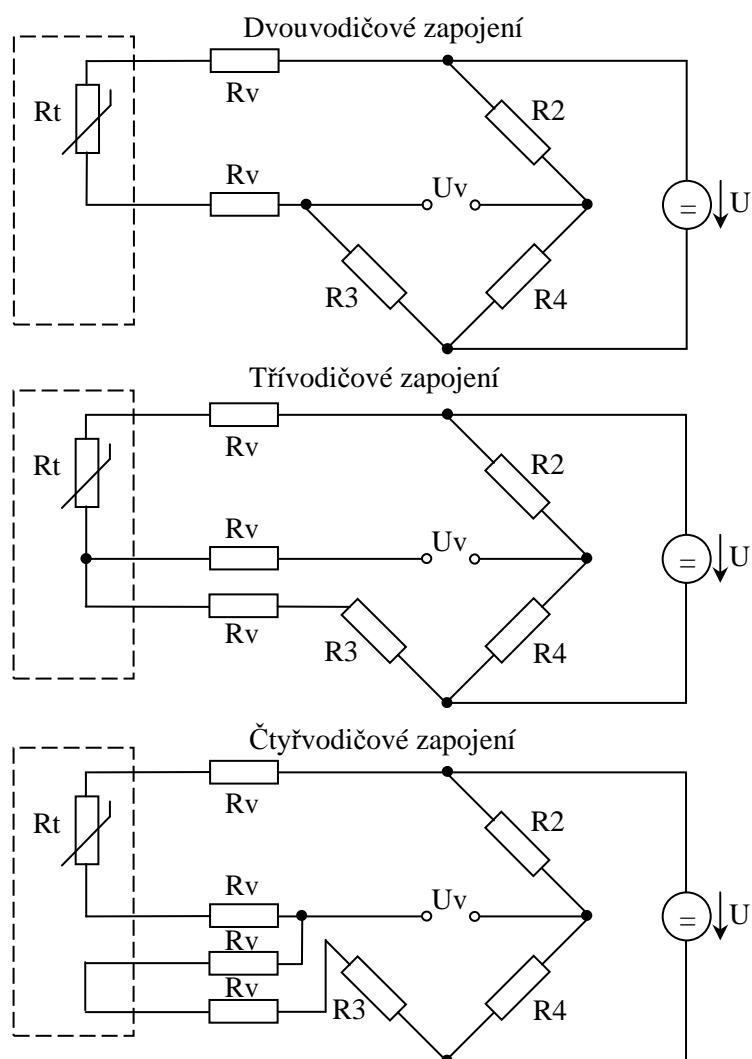
$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \text{ resp. } \alpha = -\frac{B}{T^2} \cdot 100 \quad (2.16)$$

NTC termistory se používají v aplikacích s pomalou změnou teploty. Mezi jejich výhody patří především nízká cena. Pořídí se i negastyory s vysokou přesností, širokým rozsahem teplot i dlouhodobě stabilní. Hlavní nevýhodou je však nelinearita. V mnoha případech se linearizuje statická charakteristika NTC pomocí vhodného zapojení. V praxi se nejčastěji používají dvě možnosti, buď připojením paralelního rezistoru a zdroje proudu nebo sériového rezistoru a zdroje napětí (obr. 4.).



Obr. 4. Obvody pro praktické měření na NTC

Další z možných zapojení je s využitím odporových linearizačních sítí. Jedná se zejména o Wheatstoneův můstek v dvouvodičovém, třívodičovém a čtyřvodičovém zapojení (obr. 5). [1], [2]



Obr. 5. Zapojení Wheatstonových můstků

2.2.2 Pozistor PTC

Pozistory jsou termistory s kladným teplotním součinitelem odporu, které se vyrábějí z polykrystalické feroelektrické keramiky, např. z titaničitanu barnatého. V praxi jsou méně využívány než negistory. Závislost odporu na teplotě je u pozistoru velice charakteristická (obr. 3.). Základním parametrem pozistoru je spínací teplota t_s , jejichž hodnota je dána teplotou, při níž je hodnota $R_s = 2 \cdot R_{\min}$. Tuto spínací teplotu lze chemicky nastavit do rozmezí hodnot od 60°C do 180°C. Teplotní součinitel lze stanovit ve strmé části podle vztahu (2.17), za předpokladu že $t_p > t_s$.

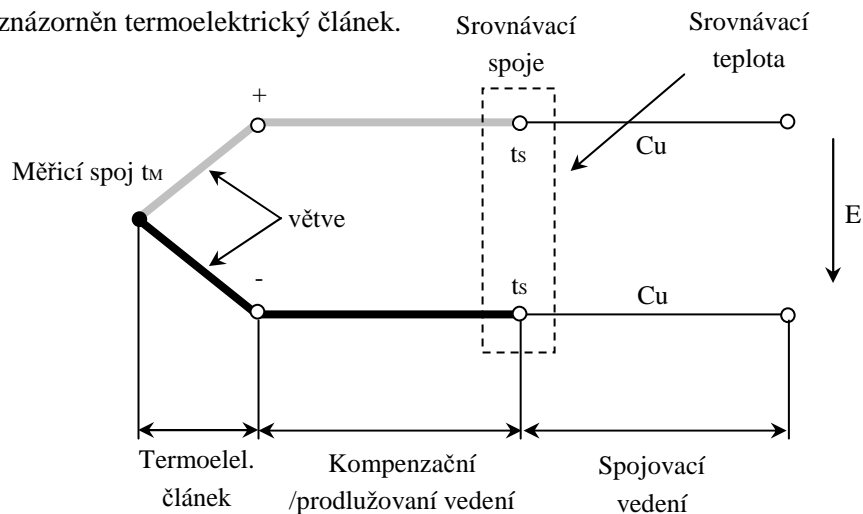
$$\alpha = \frac{\ln R_p - \ln R_s}{t_p - t_s} \quad (2.17)$$

Kromě standardní technologie se vyrábějí i pozistory dopované křemíkem. Takto vytvořené pozistory mají přibližně lineární pracovní část. Pozistory se používají nejčastěji jako tepelné ochrany, omezovače proudů a při teplotní regulaci. [1], [2]

2.3 Termoelektrické snímače teploty

Termoelektrické články pracují na principu Seebeckova jevu, tedy na jevu převodu tepelné energie na elektrickou. Tento jev vzniká tak, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii, a proto difundují ve větším množství do chladnějších míst, než nositelé z chladnějších míst do teplejších. Tím vzniká jednostranná převaha záporných nebo kladných nábojů.

Aby k tomu to jevu docházelo, musejí být použity dva termoelektrické materiály, jejichž jeden pár konců je umístěn vedle sebe. Celosvětově byly páry termoelektrických materiálů pro výrobu termoelektrických snímačů normalizovány. Byly zvoleny materiály s přijatelnou nelineární závislostí termoelektrického materiálu, odolnosti proti korozi a chemickým vlivům. Jednotlivé termoelektrické snímače tak ve výstupu mají rozdílný rozsah elektromotorického napětí v závislosti na rozsahu teplot. Na obrázku je znázorněn termoelektrický článek.



Obr. 6. Termoelektrický článek

- srovnávací teplota je teplota srovnávacího spoje, tj. teplota svorek spojovacího vedení nebo indikačního přístroje, zesilovače, izotermální svorkovnice měřicího systému,
- prodlužovací vedení je vedení (obvykle v provedení kabelu) ze stejných kovů jako větve termoelektrického článku,
- kompenzační vedení je vedení (obvykle v provedení kabelu) z jiných kovů než jsou větve termoelektrického článku ze vzácných kovů. Termoelektrický koeficient těchto materiálů musí v omezeném teplotním rozsahu (do 200°C), být stejný jako u připojeného termoelektrického článku, tj. kompenzační vedení musí mít v daném omezeném teplotním rozsahu stejnou charakteristiku jako odpovídající termoelektrický článek. Termín kompenzační neznamená u kompenzačního vedení žádnou kompenzaci, slouží pro oddálení porovnávacího konce z dosahu měřené teploty. Délka kompenzačního vedení je omezena z důvodu špatných elektrických vlastností.

V praxi se pro výpočet termoelektrického napětí používají termoelektrické koeficienty označované symboly α . Pro malý rozdíl teploty mezi teplým a studeným spojením lze využít vztah

$$E = \alpha_A(t_A - t_B) + \alpha_B(t_B - t_A) = (\alpha_A - \alpha_B)(t_A - t_B) = \alpha(t_A - t_B), \quad (2.18)$$

kde α_A je termoelektrický koeficient prvního srovnávacího spoje a t_A je teplota prvního srovnávacího spoje, α_B je termoelektrický koeficient druhého srovnávacího spoje a t_B je teplota druhého srovnávacího spoje, přičemž platí, že $t_A > t_B$.

Při měření na termočlánku dochází v praxi vlivem kolísání srovnávacích teplot k systematické chybě, tuto chybu lze s určitou nejistotou odstranit pomocí 3 možností:

- umístěním srovnávacích spojů termoelektrických článků do stálé teploty,
- použitím kompenzačních zapojení,
- číslicovou korekcí. [1], [2]

2.4 Statické vlastností snímačů teploty

Statické vlastnosti senzoru popisují jeho chování v časově ustáleném stavu. Nejdůležitější charakteristikou je **statická přenosová charakteristika** (kalibrační křivka), která udává vztah mezi měřenou veličinou X a výstupní veličinou Y . Vztah je popsán funkcí $Y = f(X)$, která lze napsat jako polynomický rozvoj

$$Y = f(X) = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_n X^n, \quad (2.19)$$

kde a_0 , a_1 až a_n jsou charakteristické koeficienty polynomu.

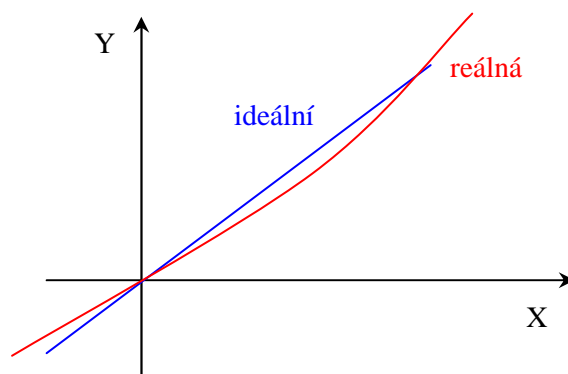
V ideálním případě, prakticky nerealizovatelném je statická charakteristika senzoru popsána konstantní funkcí

$$Y = K \cdot X \quad (2.20)$$

K je **citlivost senzoru** a současně konstanta přenosu. Na obr. 7 je znázorněna takováto ideální charakteristika v porovnání s reálnou statickou charakteristikou.

Obecně lze tuto závislost definovat pomocí přírůstků veličin X a Y

$$Y = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{df(X)}{dX}. \quad (2.21)$$



Obr. 7. Obecná statická charakteristika

Další statickou vlastností je **práh citlivosti** senzoru, je dán hodnotou měřené veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající hodnotě střední kvadratické odchylce šumu senzoru $\overline{u_s^2}$. Takže např. pro napěťový signál je práh citlivosti senzoru teploty dán směrodatnou odchylkou šumového napětí u_s .

$$u_T = \sqrt{\overline{u_s^2}} \quad (2.22)$$

Dynamický rozsah je ohraničen dolní a horní hranicí měřicího rozsahu a udává interval přípustných hodnot měřené veličiny. Dolní hranice je dána prahem citlivosti a horní hranice maximální hodnotou měřené veličiny (teplota, napětí).

Linearita je přesnost reálné kalibrační křivky s ideální statickou přenosovou charakteristikou (přímkou). Je vyjádřena v procentech plného měřicího rozsahu a udává maximální odchylku kteréhokoliv kalibračního bodu, od odpovídajícího bodu na ideální charakteristice.

Rozlišení (rozlišitelnost) je nejmenší přírůstek výstupu senzoru, který senzor zaznamená při změně vstupu. Odpovídá absolutní chybě senzoru. Absolutní chyba měření je definována jako rozdíl ΔX mezi výsledkem měření X_M a (konvenčně) pravou hodnotou X_S měřené veličiny. Relativní chyba měření δ_M je pak dána podílem absolutní chyby měření ΔX a naměřené hodnoty X_M .

Nejistota měření je parametr přiřazený k výsledku měření, charakterizující rozptyl hodnot, které lze důvodně přiřadit k měřené veličině. Jinak by se taky dalo říct, že se jedná o rozptyl hodnot okolo výsledné naměřené hodnoty, v němž jsou naměřená data považována za pravá.

Standardní nejistota typu A se zjišťuje pomocí statistického zpracování naměřených hodnot. A je dána výběrovou směrodatnou odchylkou výběrového aritmetického průměru.

Standardní nejistota typu B není založena na statistickém zpracování dat, je vyjadřována ve tvaru směrodatné odchylky nebo rozptylu. [1], [2], [12]

2.5 Dynamické vlastností snímačů teploty

Měřená teplota se neustále mění v čase. Z tohoto důvodu nestačí u mnoha technologických procesů, ke sledování měřené veličiny požadovat pouze statické parametry a charakteristiky. Zvláště snímače zařazené v obvodu regulační smyčky nebo indikující mezní stavy procesu, musí být navrženy tak, aby výstupní signál $Y = f(t)$ ze snímače, resp. z následujícího převodníku, sledoval s minimálním zkreslením teplotu t . Dynamické chování senzorů lze ve většině běžných případů popsat lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty

$$a_n Y^{(n)} + \dots + a_2 \ddot{Y} + a_1 \dot{Y} + a_0 Y = X, \quad (2.23)$$

kde měřenou veličinou X je teplota.

Dynamické vlastnosti senzorů teploty lze popsat rovnicemi prvního, druhého a výjimečně i vyššího řádu. Pokud toto zjednodušení nelze provést, je nutno nelineární rovnici po úsecích linearizovat a dynamické chování sledovat v těchto úsecích. Dynamické chování senzoru se v technické praxi vyjadřuje přenosovou funkcí, resp. frekvenční charakteristikou. **Přechodová charakteristika** je průběh výstupní veličiny v závislosti na čase při skokové změně vstupní veličiny. **Frekvenční charakteristika** udává závislost amplitudy přenosu a fázového úhlu na frekvenci, tedy změnu amplitudy a fáze výstupního signálu oproti signálu vstupnímu v závislosti na frekvenci. [1], [2], [12]

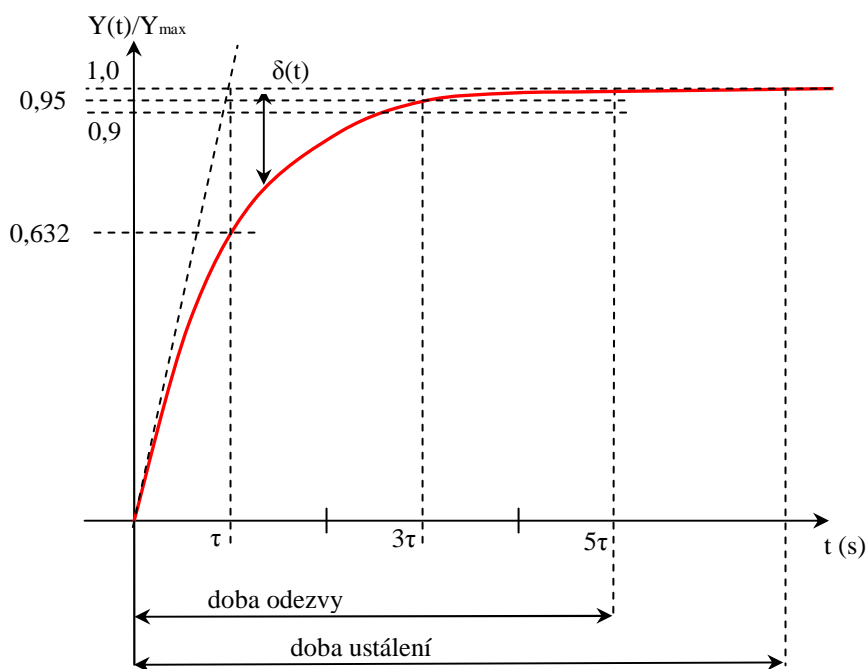
Přechodová charakteristika

Pro přechodovou charakteristiku senzoru 1. řádu je charakteristická časová konstanta τ a její násobky. Většina senzorů se vyznačuje přechodovou charakteristikou 2. nebo 3. řádu. Tyto charakteristiky lze aproximovat charakteristikou 1. řádu nebo dopravním zpožděním s charakteristikou 1. řádu. Hodnota τ je čas, za který odezva na skokovou změnu dosáhne 63,2%. Dále se uvádí hodnota 3τ (95%) a hodnota 5τ (něco přes 99%). Výrobci senzorů udávají buď již zmíněnou časovou konstantu τ , nebo tzv. dobu odezvy, tj. čas, za který dosáhne odezva senzoru hodnotu buď 90% (τ_{90}) nebo 95% (τ_{95}) ustálené hodnoty nezávisle na řádu. Na obr. 8. je přechodová charakteristika 1. řádu a na obr. 9. přechodová charakteristika 2. řádu. Pro charakteristiku 1. řádu lze ze vztahu (2.24) odvodit rovnici popisující průběh křivky

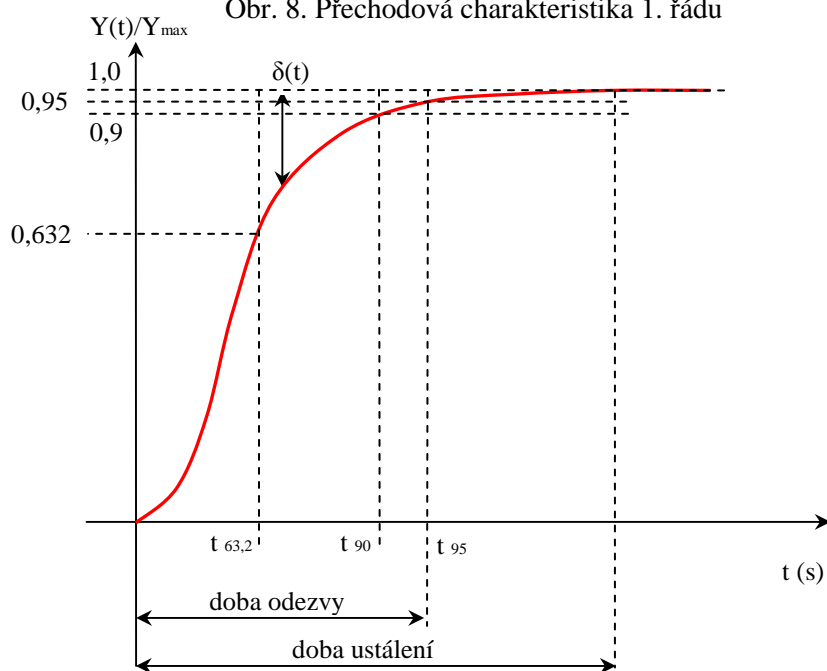
$$\frac{Y(t)}{Y_{\max}} = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \text{ kde } t \text{ je čas.} \quad (2.24)$$

Pro charakteristiku 1. řádu platí pro dynamickou odchylku od ustálené (správné hodnoty) vztah

$$\delta(t) = \frac{Y(t) - Y_{\max}}{Y_{\max}} = \frac{Y(t)}{Y_{\max}} - 1 \quad (2.25)$$



Obr. 8. Přechodová charakteristika 1. řádu



Obr. 9. Přechodová charakteristika 2. řádu

Z uvedených grafů vyplývá, že dynamické vlastnosti senzorů mají podstatný vliv na stanovení nejistot měření. Aplikace dynamické odchylky $\delta(t)$ jako zdroje nejistoty pro výpočet nejistoty měření, je možná jen z přechodové charakteristiky pouze za předpokladu, že je měření prováděno v laboratorním klimatizovaném prostředí, ve kterém lze zajistit stabilní dobu teplotního ustálení po dobu více než sedminásobek hodnoty τ po skokové změně teploty. [1], [2], [12]

Frekvenční přenos

Pokud dynamické chování senzoru teploty odpovídá lineární diferenciální rovnici 1. řádu a současně lze časový průběh měřené teploty aproximovat harmonickou funkcí s jedinou harmonickou, lze dynamické chování senzoru teploty popsat i frekvenčním přenosem a frekvenční charakteristikou. Frekvenční přenos $F(j\omega)$ je dán vztahem

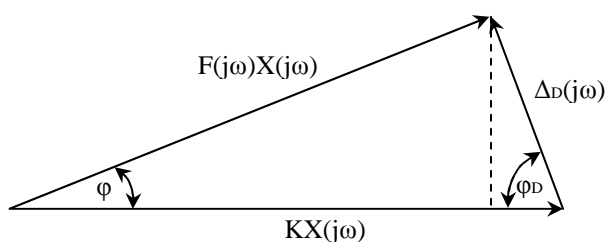
$$F(j\omega) = |F(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)}. \quad (2.26)$$

Pro dynamickou harmonickou odchylku měřené teploty od ustálené teploty platí

$$\Delta_D(j\omega) = X(j\omega)[F(j\omega) - K], \quad (2.27)$$

kde K je konstanta přenosové funkce.

Odchylku $\Delta_D(j\omega)$ pro jedinou harmonickou složku, lze znázornit ve fázorovém diagramu dle obr. 10.



Obr. 10. Fázorový diagram

Pro absolutní hodnotu odchylky Δ_D platí podle kosinové věty z fázorového diagramu rovnice

$$|\Delta_D(j\omega)|^2 = |KX(j\omega)|^2 + |F(j\omega)X(j\omega)|^2 - 2|F(j\omega)X(j\omega)||KX(j\omega)|\cos\varphi \quad (2.28)$$

Pro výpočet standardní nejistoty typu B platí [1], [2], [12]

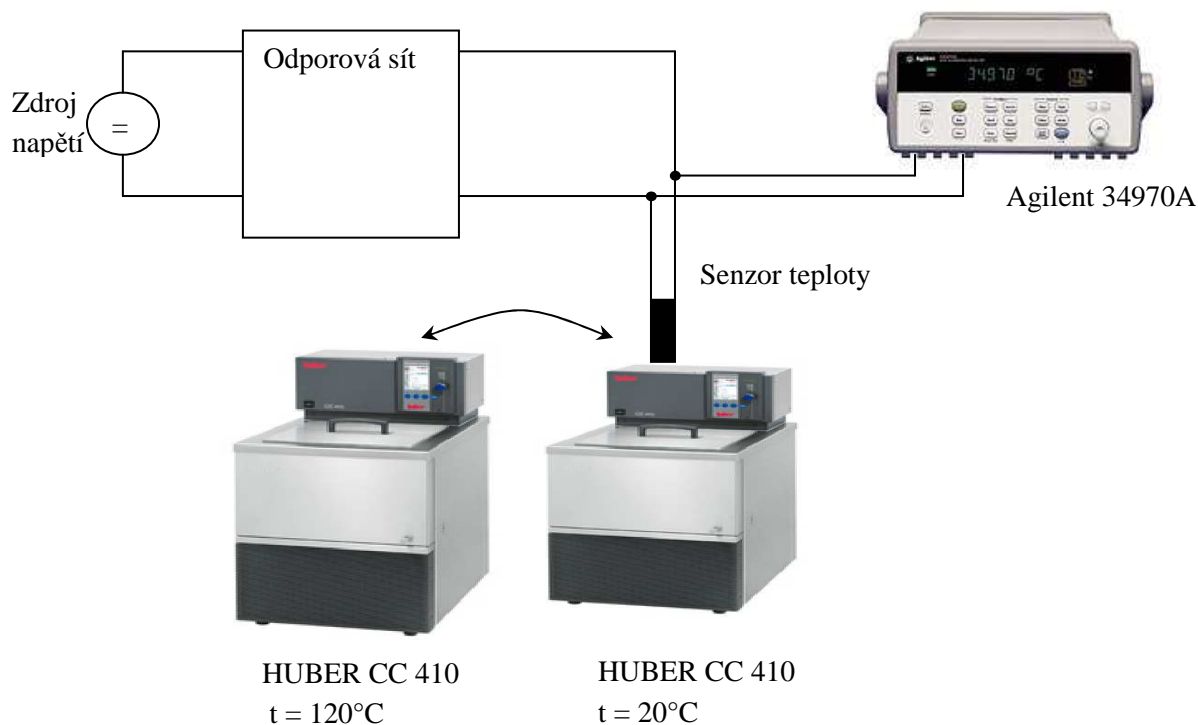
$$u_B(y) = \frac{|\Delta_D(j\omega)|_{\max}}{\sqrt{3}}. \quad (2.29)$$

3. Popis stávajícího modelu

Stávající model měření senzorů teploty používaný firmou Continental má několik zásadních nedostatků ve výsledku přesnosti naměřených hodnot. Měření je pracné a zdlouhavé. Úkolem této diplomové práce je tento postup automatizovat a usnadnit celé měření.

3.1 Současný model měření doby odezvy teplotních senzorů

Senzor teploty je pomocí odporové sítě, individuální ke každému senzoru, ponořen do silikonového oleje. Teplotu tohoto oleje udržuje na konstantní hodnotě teplotní lázeň HUBER, tím se pro senzor teploty vytvoří ideální teplota okolního prostředí. Ručním přenosem čidla z jedné lázně do druhé se vytvoří skoková změna teploty pro měření doby odezvy. K napájení celého měřicího řetězce i se senzorem teploty slouží stejnosměrný zdroj napětí. Podle typu senzoru a zapojení je definována hodnota napájecího napětí a proudu. Vyhodnocovacím prvkem hodnoty napětí na senzoru teploty je multimetr Agilent 34970A, který ukládá naměřená data pomocí programu Agilent BenchLink Datalogger do textového souboru. K vyhodnocování doby odezvy, (ang. response time) jsou data načtena do vytvořeného programu v prostředí Labview. Zde je z naměřených dat vytvořen graf měřeného napětí v závislosti na čase. Hledá se napětí při τ_{90} (hodnota napětí na senzoru, která je rovna 90% své ustálené hodnoty. Po zjištění času τ_{90} se vypočítá doba odezvy. Model je zobrazen na obr. 11.



Obr. 11. Současný model

Nikdy nelze dosáhnout konstantního času přenosu mezi lázněmi. Také místo ponoření senzoru je velice důležité, neboť se jedná o cirkulační lázně, je teplota v každém místě silikonového oleje

odlišná. Z důvodu proudění kapaliny je nutné snímač umisťovat do stále stejného místa. Jedna lázeň je např. nastavena na 20°C a druhá na 120°C. Stávající měření nelze používat na opakovatelné měření, porovnávání jednotlivých výsledků je tak nemožné.

3.2 Teplotní lázně HUBER CC 410

Teplotní lázně HUBER (obr. 12.) jsou malé kompaktní přístroje v celo nerezovém provedení s topením i chlazením. S malou lázní a vysokým výkonem jsou určeny hlavně pro ohřev a ochlazování uzavřených i otevřených systémů. Chladicí zařízení je chlazeno buď vzduchem nebo vodou (verze w). Přístroje odpovídají požadavkům pro práci s hořlavými kapalinami I. třídy. Napájení je standardních 230V. Lázeň s možností externí cirkulace se skládá z integrovaného závěsného termostatu s volitelnou řídicí jednotkou CC s topením o výkonu topení 1kW nebo 2kW, kompresorového integrovaného chlazení, čerpadla a vany s nerezovým víkem. Řídicí jednotka je volitelná a kdykoliv dodatečně zaměnitelná dle požadovaného komfortu obsluhy s označením CC1 až CC3. Čerpadla jsou dvojího druhu, tlačné (27l/min; 0,7bar) a sací (20l/min; 0,4bar) v provedení s nastavitelnou regulací výkonu čerpadla a tlaku v externím chladicím okruhu s označením vpc (modely lázní HUBER umožňují kontinuální nastavení otáček sacího a tlačného čerpadla). Teplotní stabilita lázně HUBER CC 410 je v rozmezí 0,02K. [13], [14]



Obr. 12. Teplotní cirkulační lázeň HUBER CC 410

Tab. 1. Technické parametry HUBER CC 410

Teplotní rozsah	-45...200°C
Teplotní stabilita do -10°C	0,02K
Nastavení teploty	digitální
Indikace teploty	digitální
Vnitřní teplotní senzor	Pt100
Připojitelný vnější teplotní senzor	Pt100
Analogové rozhraní In/Out	0/4-20mA nebo 0-10V
Klasifikace ochrany	FL
Topící výkon	3kW
Chladicí výkon	
při 100°C	0,8kW
při 20°C	0,8kW
při 0°C	0,8kW
při -20°C	0,5kW
při -30°C	0,15kW
při -40°C	0,1kW
Ochlazovací mechanismus	Vzduchové a vodní-chlazení
Chladivo	R507
Chladicí množství	0,36kg
Tlaková pumpa	
max. dodávka (tlakem)	33l/min
Dodávaný tlak	0,7bar
Savá pumpa	ano
max. dodávka (sání)	22l/min
Dodávaný sací tlak	0,4bar
Připojení pumpy	M16x1
Připojení pumpy pro hadici	NW8/12
max. přípustná viskozita	50mm²/s
Připojení chladicí vody	1/2" samec
min. chladicí diferenciální tlak vody	3bar
max. chladicí tlak vody	6bar
Objem lázně	22litru
Kapacita lázně s čerpadlovou sítí	8,5 digitální
Šířka otevřené lázně šxd / hloubka lázně	280 x 280 / 200mm
Celkové rozměry šxdxh	420x565x719mm
Výška otevřené lázně	520mm
Čistá hmotnost	72kg
Požadovaný dodávaný výkon	230V ~ 50/60Hz
max. proud	16A
pojistka (1 fáze)	16A
Třída ochrany	IP20
max. okolní teplota	40°C
min. okolní teplota	5°C

4. Realizace měřicí stanice doby odezvy teplotního senzoru

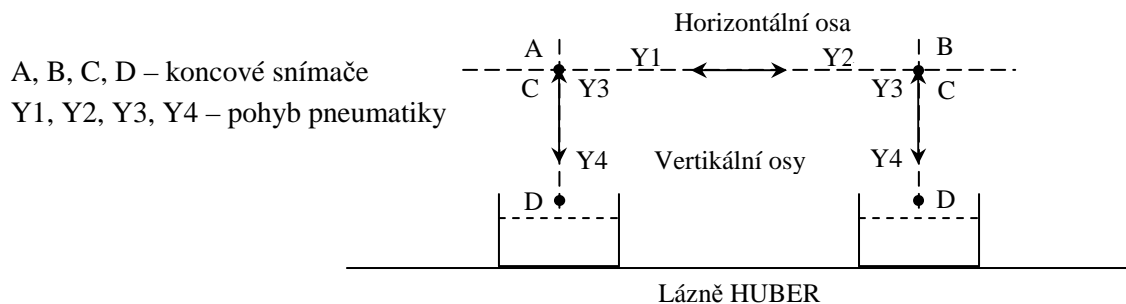
Pneumatický systém je jeden z tří nejčastěji používaných systémů s pohony v průmyslové oblasti. Vedle elektrických a hydraulických systémů s pohony má pneumatický systém své přednosti, díky nimž je použit u této měřicí stanice. Pneumatický systém je při stejných požadavcích na řízení ze všech tří nejlevnější, jeho hlavní nevýhoda však spočívá v nepřesném polohování z důvodu stlačitelnosti vzduchu, kterým jsou jednotlivé akční členy řízeny. V tomto případě, kdy je s jeho pomocí přesouván koncový snímač z jedné lázně do druhé, je tato výhoda zcela nepodstatná, jelikož není zapotřebí přesného polohování koncového zařízení. Naopak výhodou pneumatických systémů je jeho rychlost, jelikož se měří odezva teplotních čidel, je nutno zajistit, aby přesun mezi lázněmi s odlišnou teplotou, byl v co nejkratším čase. Další nezanedbatelnou výhodou je možnost ovládání jednotlivých ventilů pomocí relé, které jsou ovládány sepnutím, nebo rozepnutím pomocných kontaktů, tedy „log. 1” a „log 0”. [3], [4]

4.1 Návrh pneumatického systému

Při prvotním návrhu se vycházelo z několika požadavků na daný systém. Jedná se o dvouosý systém, který se v x-ové horizontální ose přesouvá z krajních poloh A a B. Vzdálenost těchto krajních poloh byla zvolena 1m, vzhledem k velikosti používaných lázní HUBER. Největší problém je s vertikální y-ovou osou, která má specifický pohyb. Celkový pohyb vertikální osy činí 30cm, prvních 20cm sjede pojezd ve vertikální ose max. rychlostí. Následně zbylých 10cm vjede koncové zařízení pomalu do horké kapaliny, v této poloze systém nějakou dobu setrvá. Následně se vertikální osa pomalu vysune, opět 10cm, zpět nahoru do původní polohy se pak vrátí co nejrychleji.

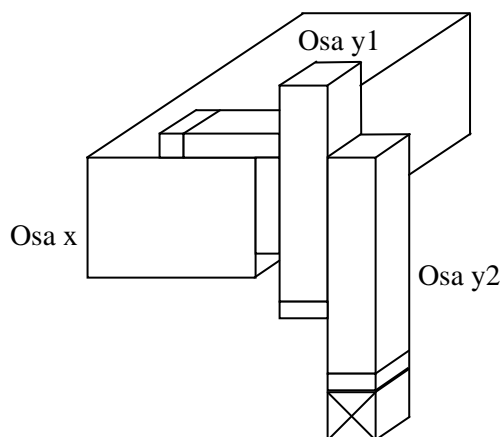
Celý pohyb systému je tedy pohon horizontální osy do bodu A, vertikální pohon dolů do bodu D, poté se pomalu ponoří do kapaliny. Následně se měří doba ustálení teplotního senzoru, následně se pomalu vynoří zpět pohon vertikální osy do bodu D, odtud pak co nejrychleji do bodu C. Tím se aktivuje horizontální osa a přesune se do druhé krajní polohy v bodě B. Následuje opětovné ponoření a měření doby odezvy (obr. 13.).

Celý pohyb mezi vynořením a přesunutím do druhé lázně a ponořením musí být co nejkratší a měl by mít stálý čas, z důvodu opakovatelnosti měření a možnosti porovnávání výsledků s jinými typy snímačů. Tuto rychlost však snižuje fakt, že při zasouvání do teplotní a následného vysouvání koncového snímače z této teplotní lázně musí být rychlost pohonu značně snížena. Je to z důvodu bezpečnosti, aby horká kapalina nevystříkovala a nemohla tak popálit obsluhující osobu. Na koncovém zařízení je umístěn držák s měřenými snímači. Tento držák a snímače mají minimální váhu, nemuselo se tedy uvažovat o zátěži jednotlivých pneumatických pohonů. Hlavním břemenem je zde samotný pneumatický pohon.



Obr. 13. Zobrazení požadovaného přesouvání pneumatického systému

Tyto požadavky byly konzultovány s obchodním zástupcem firmy FESTO a na základě vzájemné spolupráce byl navrhnout pneumatický systém, který splňuje požadované podmínky pro jeho chování. Jedná se o již zmíněný dvouosý systém, přičemž ve vertikální y-ové ose jsou umístěny dva pohony. Všechny tři pohony mají ve svých krajních polohách umístěny dorazové čidla. V závislosti na nich se ovládá chování celého systému. Pohon osy y1 je připojen k horizontální ose x, tento pohon má za úkol vykonávat rychlý 20cm pohyb dolů. Na této ose je pak připevněn pohon osy y2, až sjede pohon osy y1 dolů do své krajní polohy, sjede pomalu o dalších 10cm pohon osy y2 a část senzoru se ponoří do silikonového oleje. Na obr. 14. je zobrazeno umístění jednotlivých os a směr jejich pohybu z bočního pohledu. [3], [4]



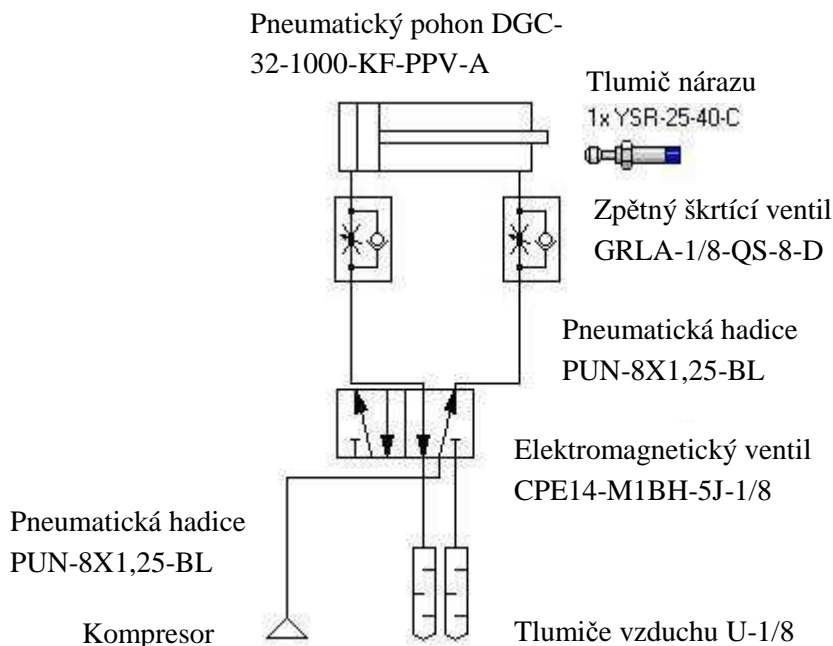
Obr. 14. Umístění jednotlivých os z bočního pohledu

4.1.1 Horizontální osa x

Pneumatický systém horizontální osy x byl z velké části navrhnout v softwaru ProPneu, který umožňuje nasimulovat chování vytvořeného zapojení s pohonem a rozvodnou soustavou vzduchu. Následuje popis součástí, ze kterých se skládá horizontální osa i s výsledky simulace.

Hlavní částí systému horizontální osy x je bezpístnicový, přímočarý dvojčinný pohon DGC-32-1000-KF-PPV-A s vedením v kuličkových oběžných pouzdrech. Tento pohon disponuje zdvihem o velikosti 1000mm. Dvojčinný znamená, že přesun vedení z jedné do druhé koncové polohy je realizován pouze přivedením vzduchu do jedné, nebo druhé komory. Jedná se o pohon o průměru

32mm s valivým vedením, na kterém lze přimontovat různé konstrukční prvky. Provozní teplota tohoto pohonu se pohybuje v rozmezí -10°C až 60°C . Pracuje s provozním tlakem 2 - 8barů. V koncových polohách je doplněn o snímače polohy typu PNP s označením SMT-8M-PS-24V-K-0,3-M8D a spojovacím vedením NEBU-M8G3-K-2.5-LE3, nutným pro ovládání tohoto pneumatického systému. Ze simulace, tohoto pohonu vyplynulo, že je nutné použít v koncových polohách externí tlumiče nárazu. Je potřeba co největší rychlost pohybu z jedné do druhé koncové polohy a kinetická energie v koncové poloze je tak velká, že tlumení standardně dodávané na pohonu nedostačuje. Byl tedy použit tlumič nárazu typu YSR-25-40-C. Pohon obsahuje připojení pneumatiky typu G1/8. Na obr. 15. je zobrazeno zapojení horizontální osy x.



Obr. 15. Zapojení horizontální osy x

K řízení rozvodu vzduchu do komor dvojčinného pohonu DGC-32-1000-KF-PPV-A slouží elektromagnetický ventil CPE14-M1BH-5J-1/8. Tento ventil má funkci 5/2, tzn. že obsahuje dvě přepínatelné polohy a v každé je pět přípojných stavů. Ventil je ovládaný elektricky, příváděním 24V stejnosměrného napětí na elektromagnetickou cívku. Ventil pracuje s provozním tlakem 2 - 8barů a s jmenovitým průtokem vzduchu 800l/min. Doba přepnutí z jedné do druhé krajní polohy je 13ms, provozní teplota je v rozmezí -10°C až 55°C . Do tohoto ventilu vždy vstupuje pneumatický tlak vytvořený kompresorem, jenž je přiváděn do hlavní jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu, stávajícího se z tlakového regulátoru přivedeného vzduchu a hlavního uzávěru přívodu vzduchu. Tuto část nelze nastavit v Propneu a je nakreslena na obr. 25. Mezi elektromagnetickým ventilem a pneumatickým pohonem je umístěn zpětný škrtkový ventil GRLA-1/8-QS-8-D, zastávající úlohu nastavení rychlosti pomocí škrcení na odvětrání. V tomto případě bude nastaven plný přívod vzduchu do komory, ale škrtkový ventil na odvětrání vytváří vzduchové polštářky, mezi nimiž je píst pohonu držen. Zlepšují se tím vlastnosti při chodu a podporuje se tím i tlumení. Pro odvod vzduchu slouží odfukovací tlumič vzduchu typu U-1/8. K připojení rozvodu vzduchu mezi regulačním ventilem a pohonem, a mezi regulačním pohonem a kompresorem, je použita pneumatická hadice PUN-8X1,25-BL. [4], [18]

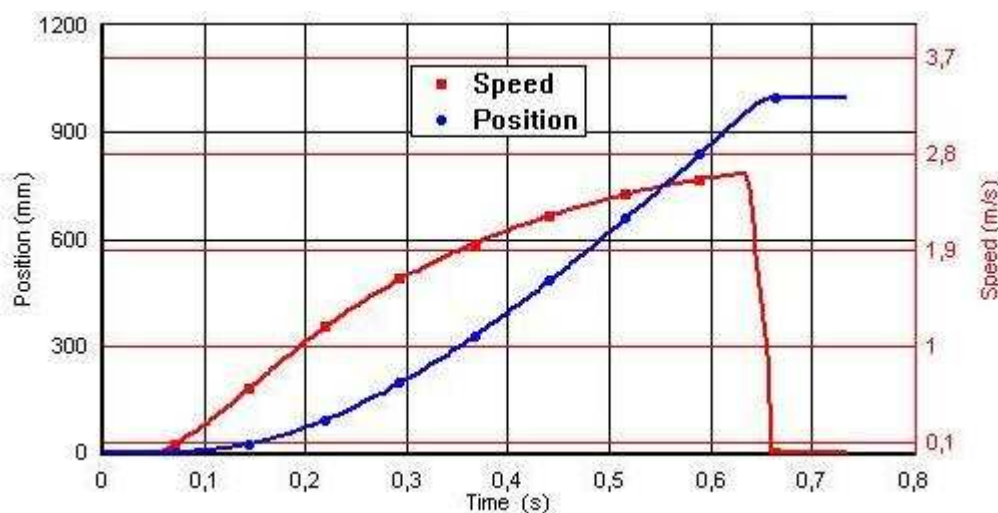
Výsledky simulace:

Zapojení na obr. 15 bylo nasimulováno v již zmíněném programu ProPneu. Následující tab. 2. zobrazuje některé zásadní vlastnosti pneumatické soustavy horizontální osy jako je např. čas přesunu, rychlost a nastavení tlumiče nárazu. Čas přesunu je 0,62s. V koncových polohách je příliš velká kinetická energie (50,52J), ta musí být dodatečně tlumena za pomoci tlumičů nárazů YSR-25-40-C.

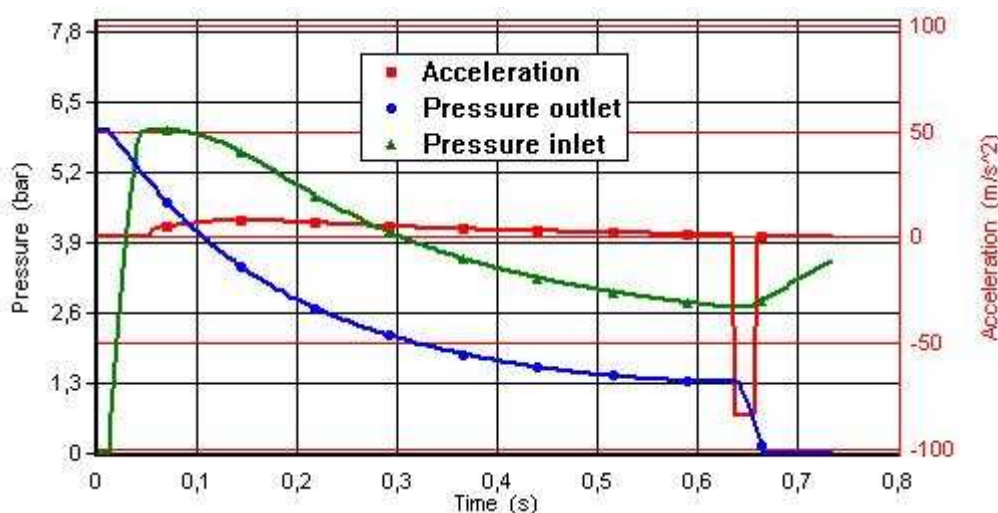
Tab. 2. Tabulka vlastností horizontálního (x) pneumatického pohonu

Význam	Hodnota
Celkový čas přesunu	0,62s
Průměrná rychlost	1,6m/s
Nárazová rychlost do tlumiče nárazu	2,7m/s
Maximální rychlost	2,74m/s
Kinetická nárazová energie	50,52J
Průměrná rychlost proudu vzduchu	81,83m/s
Minimální spotřeba vzduchu	5,7433l
Nastavení pneumatického tlumení PPV	100%
Utlučená energie	54,3J

Simulace v softwaru ProPneu také umožňuje zobrazit grafy chování nakonfigurovaného systému. Jedná se o dva grafy, první je na obr. 16. a zobrazuje závislost pozice vedení v závislosti na čase a zároveň vykresluje rychlost přesunu z jedné koncové polohy do druhé v závislosti na čase. Druhý graf pak zobrazuje závislost akcelerace vedení v závislosti na čase a průběh vstupního a výstupního tlaku v závislosti na čase (obr. 17.)



Obr. 16. Graf pozice a rychlosti horizontální osy x v závislosti na čase



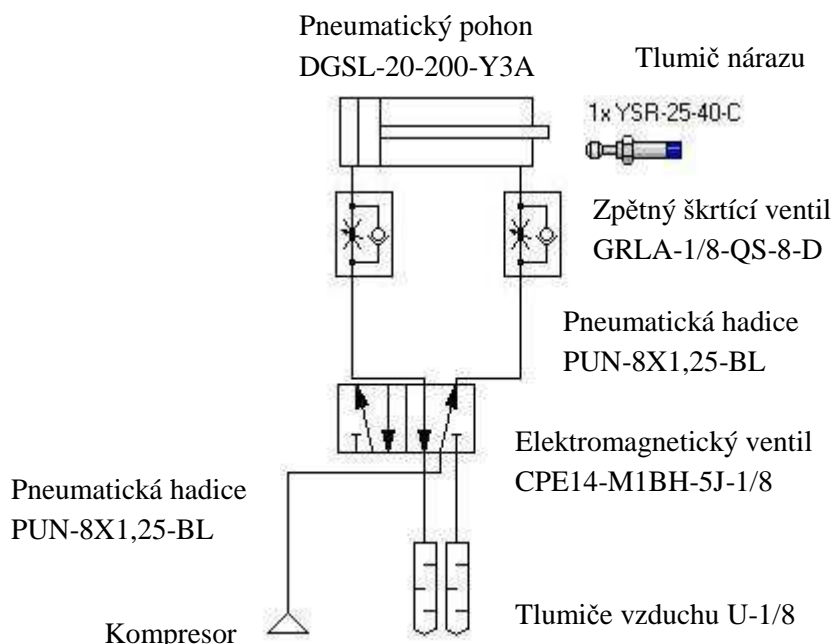
Obr. 17. Graf akcelerace a tlaků horizontální osy x v závislosti na čase

4.1.2 Vertikální osa y1

Další nasimulovanou osou je vertikální osa y1, která se pohybuje maximální možnou rychlostí do polohy koncového zařízení nad hladinou horké kapaliny. Následuje popis součástí, ze kterých se skládá vertikální osa y1 i s výsledky simulace.

Na obr. 18. je zapojení vertikální osy y1, pneumatický pohon je tentokrát DGSL-20-200-Y3A, jedná se o saně Mini, obsahuje velmi přesné vedení v kuličkových ložiscích s velmi vysokou opakovatelnou přesností pohybu. Disponuje také tlumiči nárazu na obou koncových stranách. Pro co nejrychlejší přesun koncového zařízení nad hladinu horké kapaliny, byl vybrán pohon disponující zdvihem 200mm a s průměrem pístu 25mm. Na obou koncových polohách je umístěno přibližovací čidlo SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D se spojovacím vedením NEBU-M8G3-K-2.5-LE3, snímající polohu pojezdu desky. Na této desce je pak v jeho délce přimontováno druhé vedení saní Mini typu DGSL-12-100-PA, pro pomalý pohyb ponořujícího se koncového zařízení. Jedná se opět o dvojčinný pohon s provozní teplotou 0 - 60°C. Při simulaci bylo opět zjištěno, že je v koncových polohách příliš velká kinetická energie, bylo tedy nutno použít tlumiče nárazu typu YSR-25-40-C. Pohon obsahuje připojení pneumatiky typu G1/8.

Jako regulační ventil byl použit stejný elektromagnetický ventil CPE14-M1BH-5J-1/8 jako v případě horizontální osy. Kompletní pneumatická soustava je vedena pneumatickými hadicemi PUN-8X1,25-BL. Opět jsou použity jednosměrné škrťací ventily GRLA-1/8-QS-8-D pro vytvoření vzduchových polštářků. [4], [18]



Obr. 18. Zapojení vertikální osy y1

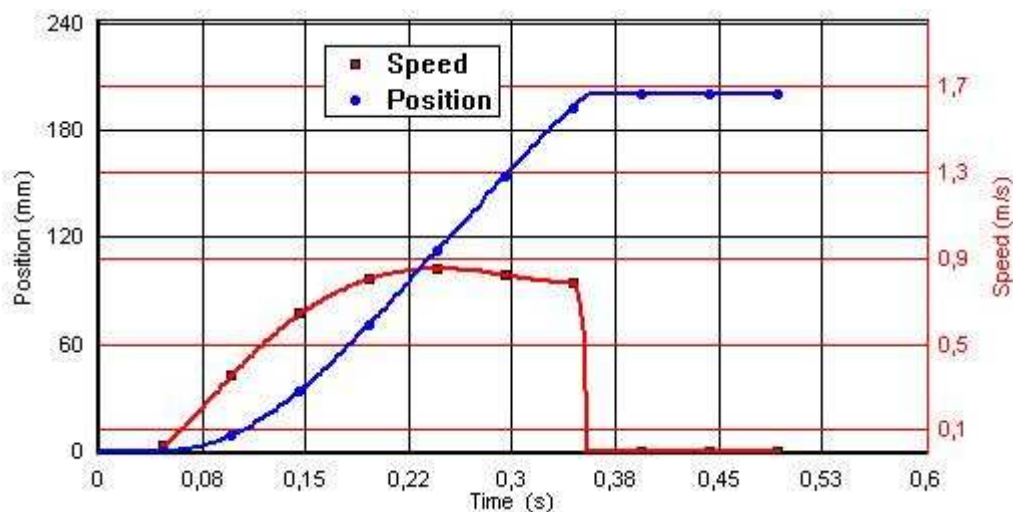
Výsledky simulace:

Takto namodelované zapojení bylo opět nasimulováno v programu ProPneu. Tab. 3. udává vlastnosti takto nakonfigurovaného systému podle obr. 18. Čas přesunu je 0,38s, muselo se opět použít pneumatické tlumení v koncových polohách. Z důvodu velké kinetické energie, která je 3,43J.

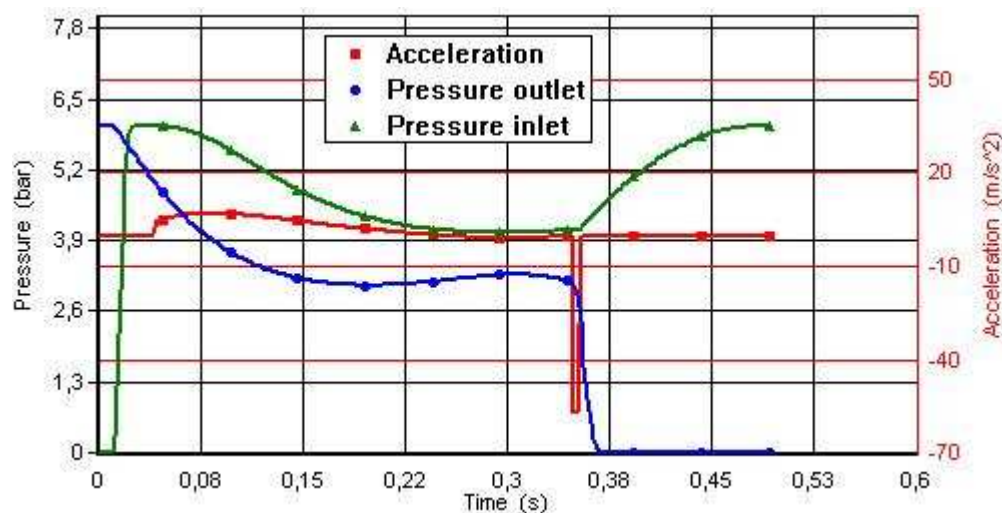
Tab. 3. Tabulka vlastností vertikálního (y1) pneumatického pohonu

Význam	Hodnota
Celkový čas přesunu	0,38s
Průměrná rychlost	0,53m/s
Nárazová rychlost do tlumiče nárazu	0,81m/s
Maximální rychlost	0,85m/s
Kinetická nárazová energie	3,43J
Průměrná rychlost proudu vzduchu	40,34m/s
Minimální spotřeba vzduchu	1,0412l
Utlumená energie	7,66J

Podobně jako u horizontální osy byly vykresleny dva grafy. První je na obr. 19. a zobrazuje závislost pozice vedení v závislosti na čase a zároveň vykresluje rychlost přesunu z jedné koncové polohy do druhé v závislosti na čase. Druhý graf pak zobrazuje závislost akcelerace vedení v závislosti na čase a průběh vstupního a výstupního tlaku v závislosti na čase (obr. 20.)



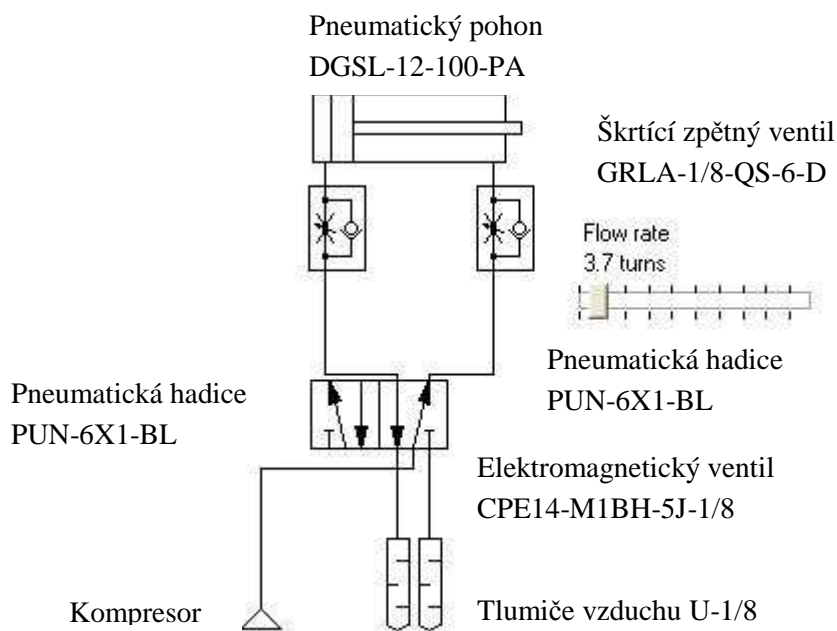
Obr. 19. Graf pozice a rychlosti vertikální osy y1 v závislosti na čase



Obr. 20. Graf akcelerace a tlaků vertikální osy y1 v závislosti na čase

4.1.3 Vertikální osa y2

Pro pomalé zasunutí koncového zařízení slouží druhá část vertikální osy, zapojení je na obr. 21. Stejně jako v případě vertikální osy y1, je pneumatický pohon tzv. Saně Mini s typovým označením DGSL-12-100-PA. Tento pohon je přišroubován k pohonu vertikální osy y1 DGSL-20-200-Y3A. Pneumatické vedení DGSL-12-100-PA disponuje dostatečným zdvihem 100mm pro zasouvání a vysouvání čidel z kapaliny. Průměr pístu je 16mm, přičemž provozní tlak je v rozsahu 1 - 8barů. Jedná se opětovně o dvojitý pohon, využívající propojovací pneumatiku typu M5. Koncové dorazy jsou opatřeny přibližovacími čidly pro snímání polohy s typovým označením SMT-10F-PS-24V-K0,3L-M8D a spojovacím vedením NEBU-M8G3-K-2.5-LE3. [4], [18]



Obr. 21. Zapojení vertikální osy y2

Jelikož je potřeba pomalého pohybu je nutno omezit tlak přicházejícího vzduchu do jednotlivých komor, k tomu se využívá škrťací zpětný ventil GRLA-M5-QS-6-D. Škrťací zpětný ventil je připojený k elektromagnetickému ventilu CPE14-M1BH-5J-1/8 pomocí pneumatické hadice PUN-6X1-BL. Na tomto regulačním elektromagnetickém ventilu je umístěno tlumení U-1/8. Kompresor je připojen k elektromagnetickému ventilu přes pneumatickou hadici PUN-6X1-BL.

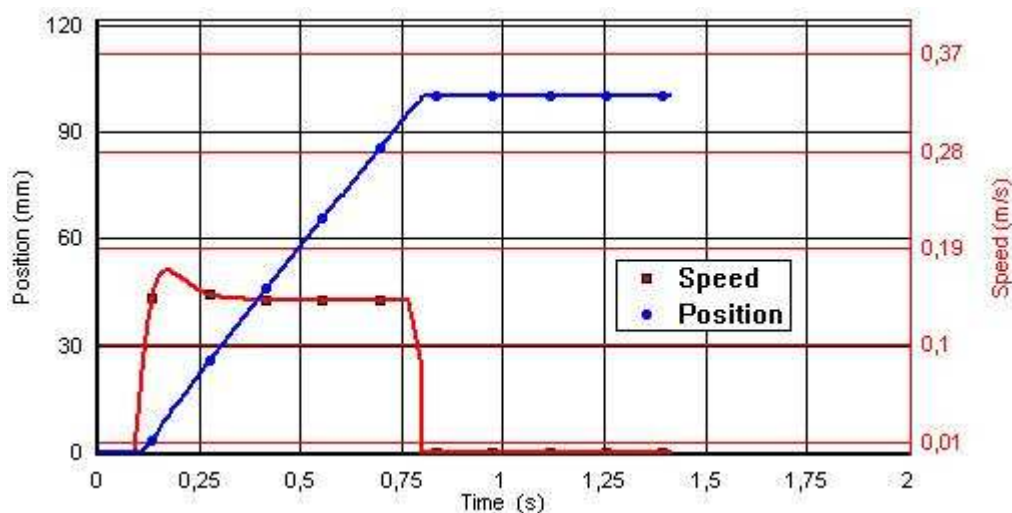
Výsledky simulace:

Tab. 4. udává vlastnosti takto nakonfigurovaného systému podle obr. 21. Čas přesunu mezi krajními polohami je 0,98s, kinetická energie v koncových polohách je téměř nulová. Nemusely se použít koncové pneumatické tlumiče nárazu. Nastavené škrcení je na 3,7 otáček.

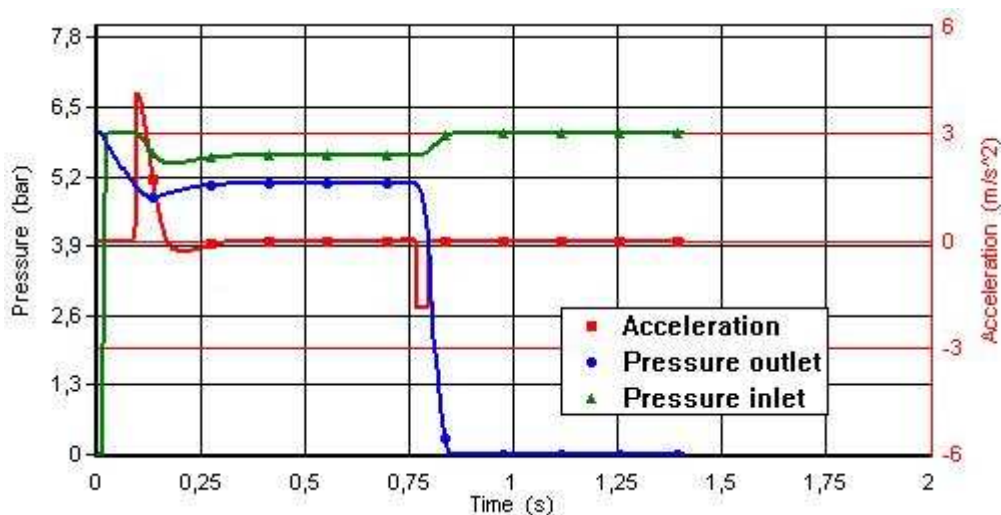
Tab. 4. Tabulka vlastností vertikálního (y2) pneumatického pohonu

Význam	Hodnota
Celkový čas přesunu	0,98s
Průměrná rychlost	0,1m/s
Nárazová rychlost do tlumiče nárazu	0,11m/s
Maximální rychlost	0,2m/s
Kinetická nárazová energie	0,03J
Průměrná rychlost proudu vzduchu	5,56m/s
Minimální spotřeba vzduchu	0,5193l

Výstupem simulace jsou také dva grafy. První je na obr. 22. a zobrazuje závislost pozice vedení v závislosti na čase a zároveň vykresluje rychlost přesunu z jedné koncové polohy do druhé v závislosti na čase. Druhý graf pak zobrazuje závislost akcelerace vedení v závislosti na čase a průběh vstupního a výstupního tlaku v závislosti na čase (obr. 23.).



Obr. 22. Graf pozice a rychlosti vertikální osy y2 v závislosti na čase



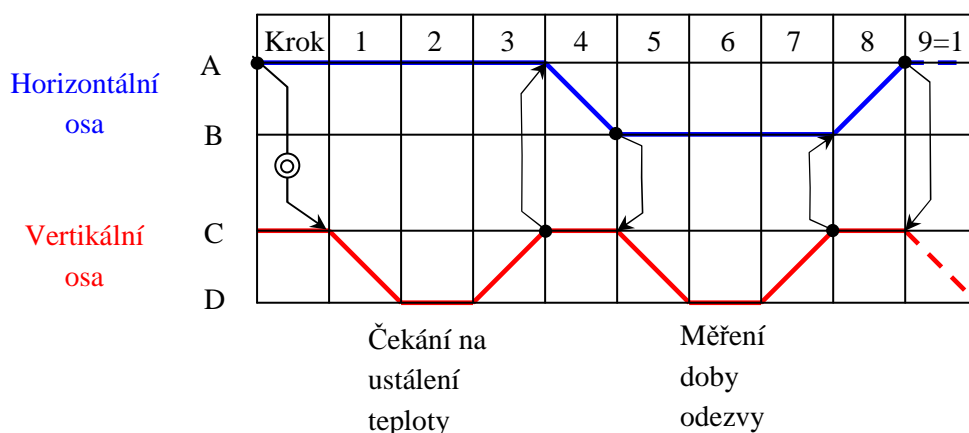
Obr. 23. Graf akcelerace a tlaků vertikální osy y2 v závislosti na čase

4.2 Výsledný návrh pneumatického systému

Výše uvedený návrh v kapitole 4.1 byl prodiskutován vedením firmy Continental. Po jejich rozhodnutí byla odstraněna vertikální osa y2. Hlavním důvodem je celkový čas přesunu z jedné lázně do druhé. Ten v součtu bez vertikální osy y2 činí 1s. Pokud bychom k tomu přičetli čas přesunu osy y2 0,98s, dostaneme se na hranici 2s. Při simulaci je uvažován max. vstupní tlak 8baru, s nastavením menšího bezpečného tlaku by došlo k překročení požadovaného času přesunu 2s. Bezpečnost obsluhy před opařením horkou kapalinou, bude zajištěno kovovou stěnou zachytávající stříkající silikonový olej.

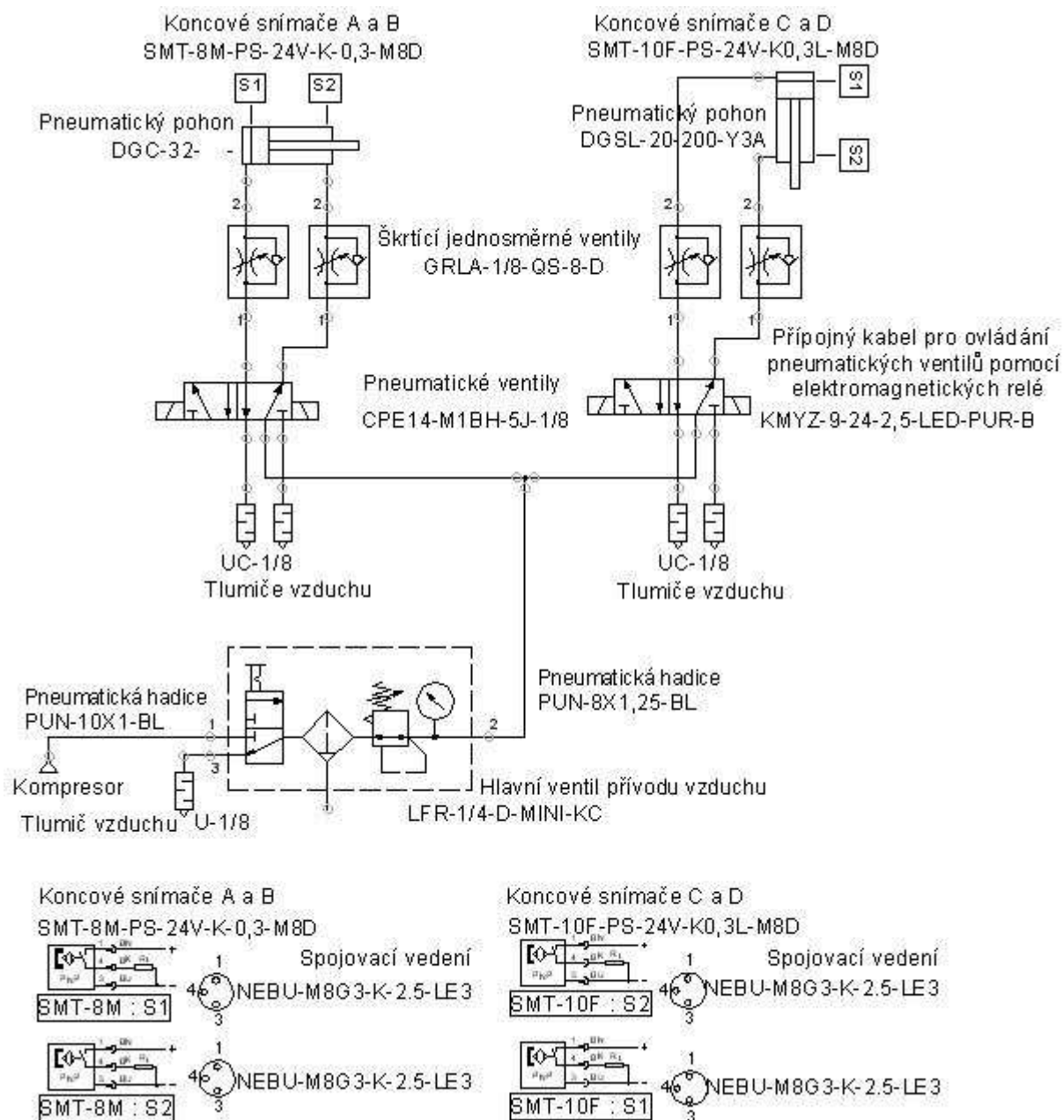
Výsledný pneumatický systém bude obsahovat horizontální a vertikální osu, pro zobrazení chodu jednotlivých pohonů se používá tzv. krokový diagram (obr. 24.). Horizontální i vertikální osy mají dvě koncová čidla pro snímání polohy válce zobrazené na obr. 13.

Jako výchozí stav se bere, že jsou sepnuty snímače A a C, válce jsou tedy vlevo a nahoře. Poté následují jednotlivé kroky posunu válce v závislosti na požadovaném přesunu koncového senzoru teploty. Po dobu všech kroků jsou měřeny a ukládány hodnoty napětí odporového teplotního senzoru. V kroku 1 se po spuštění programu spustí vertikální osa do lázně a následně se sepne snímač D. Po zjištění přítomnosti senzoru teploty v lázni dochází k čekání na ustálení teploty. Po ustálení, vyjede vertikální osa zpět nahoru z lázně. Snímač C zjistí přítomnost válce a předá pohyb horizontální ose, ta se přesune z levé krajní polohy do pravé. Konec tohoto pohybu je zaznamenán snímačem B. Následně je pohyb předán zpět vertikální ose. Vertikální osa opět sjede dolů do lázně s rapidně vyšší teplotou a sepne se snímač D, který zahájí měření doby odezvy. Po skončení měření vyjede válec nahoru, sepne se snímač C a pohyb se předá horizontální ose, ta se přesune zpět do leva (snímač A), následuje krok 9, který je totožný s krokem 1. Jednotlivé kroky se následně opakují.



Obr. 24. Krokový diagram pneumatických pohonů

Na obr. 25 je kompletní zapojení pneumatického systému s popisem jeho jednotlivých částí. Zapojení je vytvořeno v demo programu FluidDraw. Vlevo je zobrazeno zapojení horizontální osy, jsou zde znázorněny i koncové PNP snímače polohy s odkazem na jejich vnitřní zapojení a spojovacím kabelem s nástrčnou koncovkou, která je zobrazena vedle. Všechny koncové snímače dorazu indikují pomocí LED přítomnost válce. Výstupem všech 4 koncových snímačů je 24V napětí v sepnutém stavu a 0V, když jsou vypnuty. V pravé části je zobrazena vertikální osa s podobným popisem koncových snímačů a spojovacích kabelů jako u horizontální osy. Obě tyto osy jsou řízeny pneumatickými ventily které jsou ovládány pomocí 4 elektromagnetických relé připojených k řídicí jednotce pomocí přípojného kabelu. Tyto 4 elektromagnetické relé indikují pomocí LED jestli jsou sepnuty nebo rozepnuty. K ovládání a tedy sepnutí relé je nutno přivádět stejnosměrné napětí 24V. Hlavní ventil přívodu vzduchu je umístěn uprostřed obrázku a obsahuje manuální ovládání připojení vzduchu, dále pak filtr pro čištění přiváděného vzduchu do komor a ovládací ventil pro nastavené vstupního tlaku do celého obvodu, ten se zobrazuje na displeji. Kompletní seznam pneumatických součástí je uveden v příloze č.1 včetně jejich ceny. [3], [4], [18]

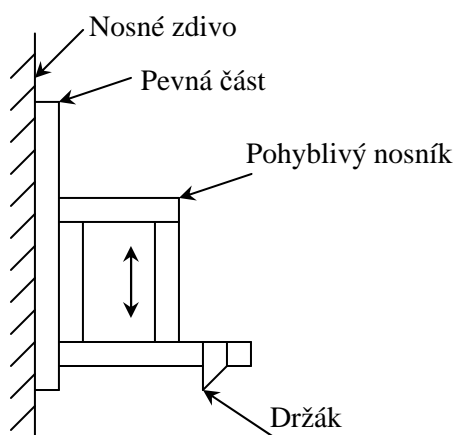


Obr. 25. Celkové zapojení pneumatického systému

4.3 Popis konstrukce

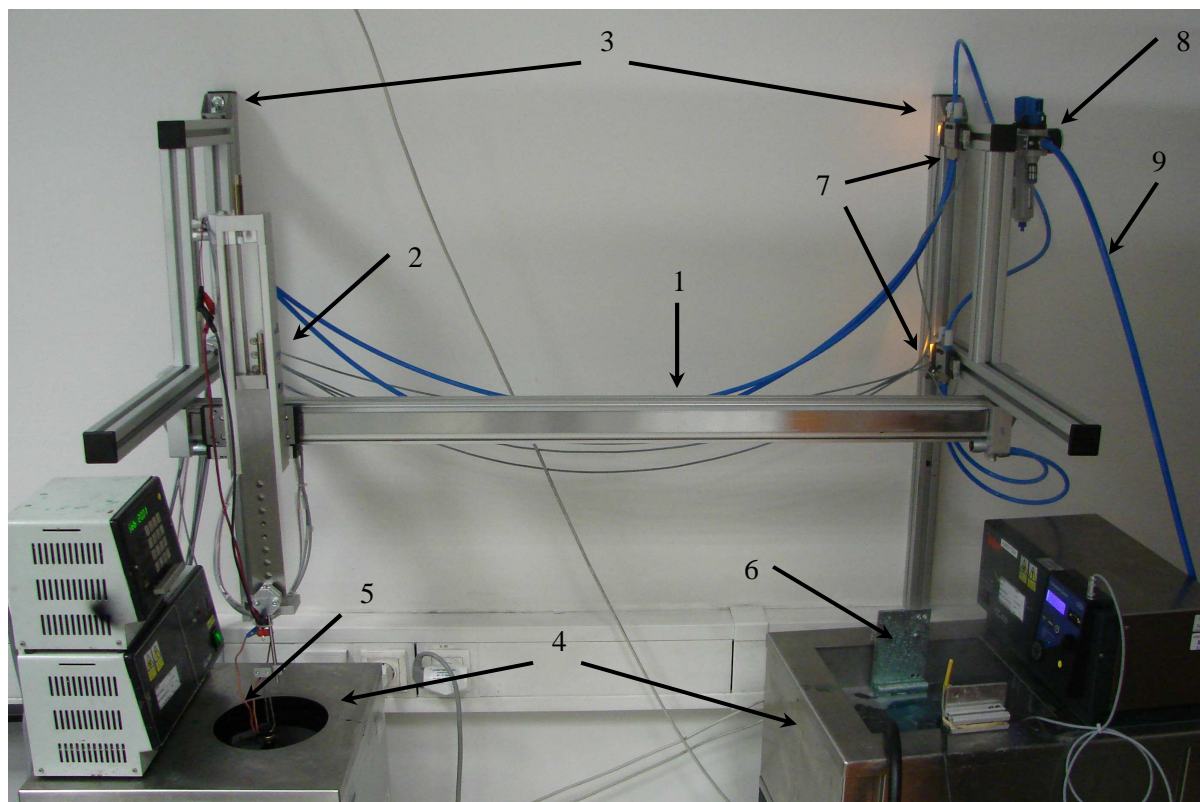
Dalším nutným problémem při vytvoření pneumatického systému je jeho upevnění pomocí vhodné konstrukce. Tato konstrukce by měla být co nejpevnější, aby unesla celou váhu obou pohonů. Při přesunu z jedné krajní polohy do druhé krajní polohy dochází k nárazu vedení do koncových dorazů. Je tedy nezbytně nutné, aby konstrukce vydržela i toto namáhání. Dalším problémem je nejednotná výška hladiny teplotních lázní. Aby byl celý mechanismus modifikovatelný i na jiné měřicí procedury je vhodné vytvořit pohyblivé nastavení výšky celého pneumatického systému. Jednotlivé díly a konstrukční prvky byly vyrobeny odbornými pracovníky firmy Continental. Následně budou popsány hlavní konstrukční prvky.

Celá konstrukce je složena ze tří hlavních částí, pevné části připevněné nastálo ke zdi, dále pak z pohyblivého nosníku pro nastavitelnou výšku a poslední částí je držák horizontálního pneumatického pohonu. Na obr. 26 je zobrazeny jednotlivé části této konstrukce, přesné rozměry těchto částí jsou nakresleny v AutoCAD 2005. [6]



Obr. 26. Konstrukce pro pneumatický systém

Pevná část i pohyblivý nosník jsou vyrobeny z kovového hranolu s drážkami pro kovové kameny s jejichž pomocí jednotlivé části drží při sobě. Držák je vyroben z pevného kovu, speciálně určený pro upevnění pomocí šroubů k pohyblivému nosníku z horní strany a z dolní strany k hlavám horizontálního pohonu. Pohyblivý nosník je určen pro hrubé nastavení výšky celého pneumatického systému. Pro jemné doladění výšky senzoru k hladině kapaliny slouží držák teplotního senzoru, který se bude v následující době dále doplňovat o další typy úchytů pro různé druhy a tvary teplotních senzorů. Prozatímní držák je uchycen na konci vertikálního pohonu, jeho součástí je výškově nastavitelný mechanismus dvou svorek pro upevnění teplotního senzoru. Na jedné ze dvou konstrukcí jsou připevněny oba regulační pneumatické ventily i hlavní přívod tlaku. Na obr. 27 je kompletní obrázek celého pneumatického systému i s konstrukcí.



Obr. 27. Obrázek celého systému

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 – horizontální pneumický pohon | 6 – čerpadlo konstantního proudění kapalinového média |
| 2 – vertikální pneumický pohon | 7 – elektromagnetické ventily |
| 3 – kovová konstrukce | 8 – hlavní ventil přívodu vzduchu |
| 4 – lázně HUBER | 9 – pneumická hadice přívodu vzduchu |
| 5 – senzor teploty | |

4.4 Měřicí a řídicí elektronika

Při návrhu ovládání pneumatických válců vyvstal problém s připojením řídicí karty ke koncovým snímačům a k připojení relé elektromagnetických ventilů k řídicí kartě. Je třeba zesílit výstupní napětí digitálních vstupů pro ovládání elektromagnetických relé. Napětí z koncových snímačů bylo zeslabeno na úroveň TTL logiky pro digitální vstupy karty. Bylo nutno vytvořit elektronický převodník řešící tento problém.

4.4.1 Měřicí karta USB 6009

Jedná se o multifunkční I/O kartu (obr. 28.), určenou ke sběru dat a vytvořenou firmou National Instruments, která je připojitelná k počítači přes USB rozhraní pomocí tzv. plug-and-play

připojení. Je schopna měřit široké spektrum signálu a ovládat různorodé aplikace. Tato karta je kompatibilní se standardními operačními systémy jako Windows Vista/XP/2000, Linux, Mac OS X a mnoho dalších. V souladu s těmito operačními systémy je plně programovatelná pomocí několika softwarových balíčků firmy National Instruments. Těmi jsou např. LabVIEW, LabVIEW SignalExpress, Measurement Studio a LabVIEW*/CVI a mnoha dalšími kompatibilními systémy.



Obr. 28. Měřicí karta USB NI 6009

Multifunkční měřicí karta NI USB 6009 disponuje 8 analogovými vstupy využívající 14 bitový ADC převodník s postupnou aproximací, maximální vzorkovací frekvence těchto analogových vstupů je 48kS/s. Karta také obsahuje krom analogových vstupů také dva analogové výstupy. Ty mají DAC převodníky také s postupnou aproximací, ale s 12 bitovým rozlišením. Výstupní signál lze generovat s maximální obnovovací frekvencí 150Hz. Karta je vybavena 12 programovatelnými digitálními vstupy/výstupy kompatibilními s CMOS, TTL i LVTTTL technologiemi. Na této kartě je dále umístěn jeden 32 bitový čítačový vstup, který je schopen zpracovávat vstupní signály s maximální frekvencí 5MHz. Všechny uvedené specifikace jsou typické pro teplotu okolí 25°C, není-li uvedeno jinak. [15], [16], [17]

Analogový vstup

Analogový vstup lze připojit dvěma způsoby a to standardním způsobem, kdy přivedeme vstupní signál na vstup analogové karty a zem signálu spojíme s analogovou zemí karty. Druhý způsob je tzv. diferenciální, tedy vstupní signál je připojen k jednomu vstupu karty a zem signálu k druhému vstupu karty. Každá měřicí karta firmy National Instruments má nadefinované dvojice vstupních svorek pro diferenciální zapojení. Při použití standardního zapojení lze využít plný počet analogových vstupů, při diferenciálním zapojení se počet analogových vstupů snižuje na polovinu, zvyšuje se však napěťový rozsah. V tab. 5. a 6. jsou zobrazeny absolutní přesnosti standardního a diferenciálního zapojení na plném rozsahu. [15], [16], [17]

Tab. 5. Tabulka absolutní přesnosti na plném rozsahu (standardní zapojení)

Rozsah napětí [V]	Typická při 25°C [mV]	Maximální od 0 do 55°C [mV]
±10	14,7	138

Tab. 6. Tabulka absolutní přesnosti na plném rozsahu (diferenciální zapojení)

Rozsah napětí [V]	Typická při 25°C [mV]	Maximální od 0 do 55°C [mV]
±20	14,7	138
±10	7,73	84,8
±5	4,28	58,4
±4	3,59	53,1
±2,5	2,56	45,1
±2	2,21	42,5
±1,25	1,7	38,9
±1	1,53	37,5

Digitální vstup/výstup

Jak již bylo uvedeno výše, karta USB NI 6009 disponuje s 8 digitálními výstupy, napětí na těchto výstupech je získáváno přes interní pull-up rezistory s hodnotou 4,7kΩ, které jsou připojeny na napětí +5V. Maximální napěťový rozsah je od -0,5V do +5,8V. Následující tabulka (tab. 7.) určuje hladiny napětí logických jedniček a nul pro vstupní a výstupní digitální signály. [15], [16], [17]

Tab. 7. Tabulka napěťových úrovní digitálních vstupů/výstupů

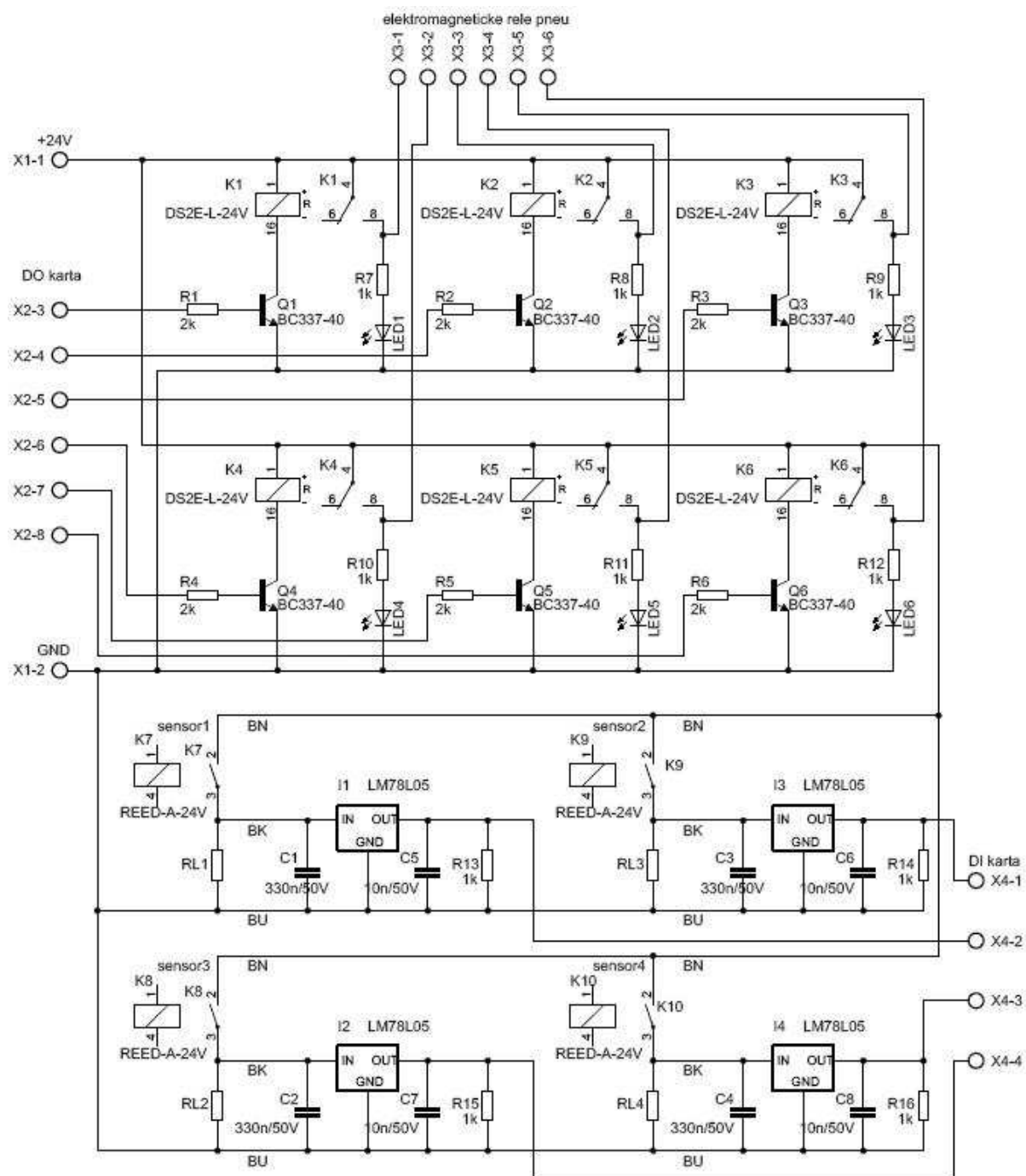
Úroveň	Min	Max	Jednotka
Vstupní napětí „log. 0“	-0,3	0,8	V
Vstupní napětí „log. 1“	2,0	5,8	V
Vstupní propouštěný proud	-	50	μA
Výstupní napětí „log. 0“ (I=8,5mA)	-	0,8	V
Výstupní napětí „log. 1“ (sepnuty pull-up, I=-8,5mA)	2,0	3,5	V
Výstupní napětí „log. 1“ (otevřený kanál, I=-0,6mA, jmenovitý)	2,0	5,0	V
Výstupní napětí „log. 1“ (otevřený kanál, I=-8,5mA, externí pull-up)	2,0	-	V

4.4.2 Elektronický převodník

Pro připojení koncových snímačů a elektromagnetických relé k digitálním vstupům karty USB NI 6009 bylo nutno vytvořit elektronický převodník pro úpravu napětí ze snímačů a pro přívod požadovaného napětí k elektromagnetickým relé. Na koncových snímačích je při sepnutém stavu napětí 24V a při rozepnutém stavu napětí 0V. Je tedy nutno snížit úroveň 24V na napětí 5V pro digitální vstup karty. V případě elektromagnetických relé se přivádí napětí 24V na jejich vstupy, při sepnutí digitálního výstupu karty na 5V. Na obr. 29 je zapojení elektronického obvodu nakresleného v programu EAGLE. Celý obvod je napájen ze svorek X1 externím napětím 24V.

V horní polovině je 6 obvodů spínajících v závislosti na přivedeném napětí na výstupech DO karty USB NI 6009 (svorky X2). Napětí převáděné na elektromagnetické relé pneumatických ventilů je na svorkách X3. Pokud se vyšle na digitální výstup X2-3 „log 1“, což je charakterizováno napětím 5V, začne do báze tranzistoru Q1 protékat proud přibližně 2mA. Ten je dán odporem R1, na kterém vzniká úbytek napětí přibližně 4,35V. Ten závisí na napětí přechodu báze-emitor pohybující se v rozmezí 0,6 až 0,7V. Po průchodu proudem do báze začne tedy téct i proud kolektorem a na spínací relé K1. To sepne kontakt K1 připojující napětí 24V na kontakty elektromagnetického relé pneumatického ventilu. Relé K1 až K6 má maximální únosný proud 3A, což je dostatečná hodnota aby nedošlo k jeho zničení. Při nastavení digitálního výstupu na „log 0“ není do báze tranzistoru Q1 přiváděn proud a kolektorem také nic neprochází, kontakty relé K1 jsou vypnuty. Signalizace připojení napětí 24V na přepínací relé pneumatického válce, je pomocí LED diody připojenou přes odpor R7 omezující proud do diody na 24mA. Stejným způsobem je realizováno i zbylých 5 spínacích obvodů, využívají se však pouze 4, zbylé dva slouží pro případ poruchy zbývajících.

Ve spodní části jsou 4 obvody sloužící jako stabilizátory napětí z koncových snímačů označených 1-4 na napětí 5V pro digitální vstupy karty X4. Senzory detekující polohu válce v koncových polohách jsou napájeny napětím 24V ze svorek X1. Odpory RL1 až RL4 jsou vnitřní odpory snímače. Po kladné detekci válce se sepne kontakt K7 a na integrovaný stabilizátor I1 (LM78L05) je připojeno napětí 24V. Stabilizátor I1 je zapojen podle typického zapojení udávaného výrobcem. Kondenzátory C1 a C5 zlepšují vlastnosti stabilizátoru I1. Na výstupu je tak napětí 5V, které je přiváděno na digitální vstup karty. V případě, že čidlo nedetekuje válec a kontakt K7 je rozepnut, je na výstupu ze stabilizátoru napětí 2V, to je sníženo pomocí odporu R13 na požadovanou úroveň 0,8V pro „log 0“ na digitálním vstupu měřicí karty. Pneumatický systém obsahuje 4 koncové snímače detekující válec, jsou tedy použity 4 totožné zapojení pro čtení dat z těchto snímačů. [10], [21]



Obr. 29. Zapojení elektronického převodníku

Toto elektronické zapojení bylo realizováno na univerzální jednostranné předvrtané DPS, ze které byly vyvedeny dva 25pinové konektory CANON na čelo kovového konstrukčního boxu (obr. 30.). Konektor 1 slouží pro připojení koncových snímačů a k připojení měřicí multifunkční karty NI USB 6009. Konektor 2 slouží pro připojení na ovládání elektromagnetických relé pneumatických ventilů. Dále jsou na kovovém konstrukčním boxu vyvedeny kontakty pro připojení externího zdroje napětí 24V.



Obr. 30. Kovový konstrukční box

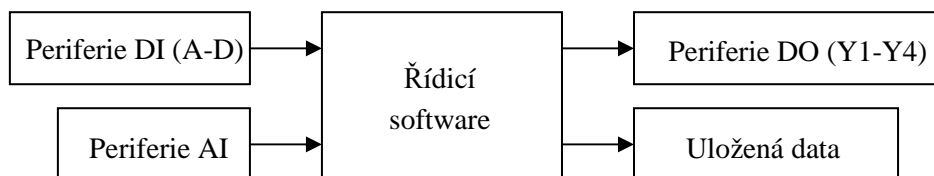
5. Návrh a popis řídicí aplikace

K vytvoření řídicí aplikace byla po dohodě se zástupci firmy Continental zvolena již zmíněná multifunkční USB karta NI6009 a k ní použit vývojový software LabVIEW 2009 ve verzi 8.5. Počítač s měřicí kartou a řídicím softwarem je umístěn v místnosti pro testování teplotních senzorů poblíž pneumatického systému.

V následujících kapitolách jsou blokově rozkresleny a popsány jednotlivé části řídicí aplikace. K popisu ovládání pneumatiky je ve všech režimech provozu (manual, time, pneu) použita Petriho síť.

5.1 Struktura řídicí aplikace

Na obr. 31 je základní struktura řídicí aplikace s dvěma vstupy a dvěma výstupy. Z periferie digitálních vstupů DI jsou získávány informace o umístění pneumatických válců pomocí dorazových snímačů označených písmeny A,B,C a D. Přičemž horizontální osa má vlevo snímač A, a vpravo snímač B. Vertikální osa je popsána obdobně, nahoře snímač C a dole snímač D. (viz. obr. 13). Měřená hodnota napětí na teplotním senzoru je snímána pomocí periferie analogového vstupu AI. Data z koncových snímačů a teplotního senzoru jsou přiváděna do řídicího softwaru. Na základě takto získaných dat a řídicího softwaru jsou na periférii digitálních výstupů DO vysílána data přepínající elektromagnetické ventily, které usměrňují proud vzduchu do pneumatických válců. Označení digitálních výstupů je podobné jako u DI, viz. obr. 13. Pohyb osy doleva je označen jako Y1, doprava pak Y2. Vertikální pohyb Y3 vysouvá testovaný snímač z lázně nahoru, Y4 jej naopak zasouvá dolů. Výstupem testování senzoru jsou dva soubory s uloženými daty. V prvním jsou uloženy jednotlivé hodnoty napětí na senzoru po dobu spuštění měření v závislosti na čase. Druhý soubor pak obsahuje přímo naměřené časy odezvy.



Obr. 31. Struktura řídicí aplikace

5.2 Návrh řídicího softwaru

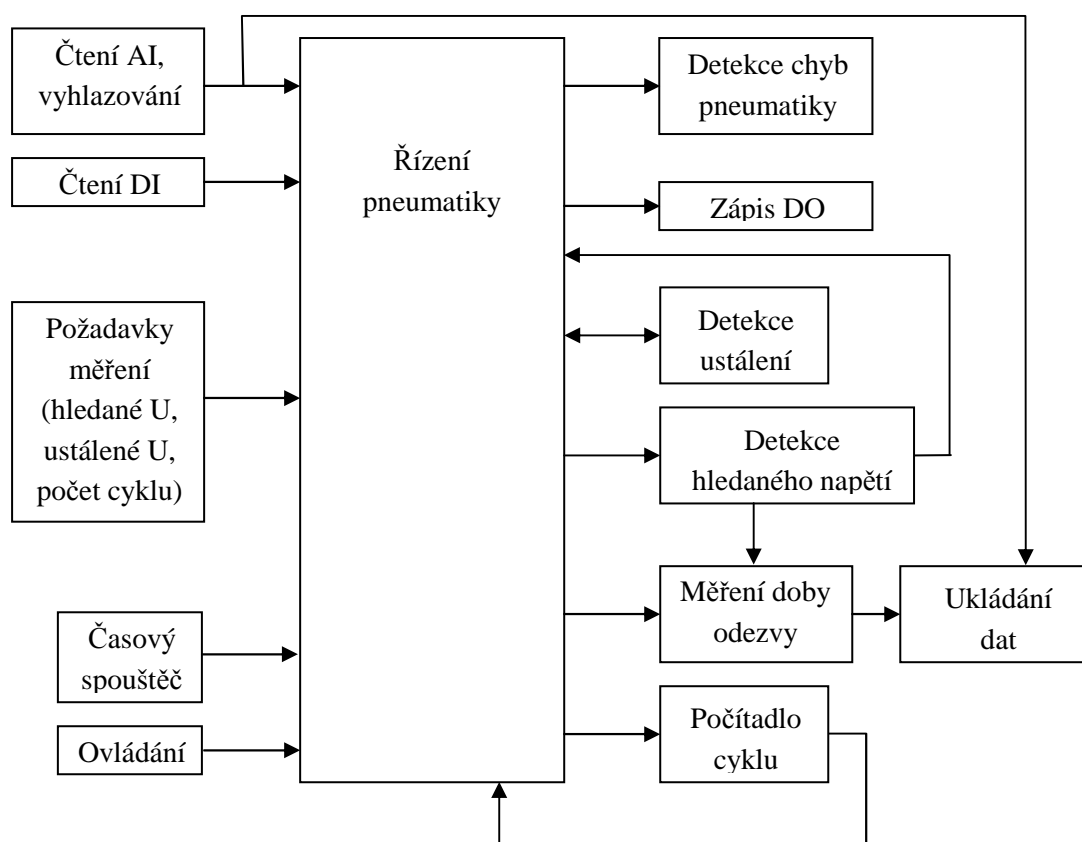
Řídicí aplikace je složena z řídicího softwaru a I/O periferií, řídicí software je pak rozdělen na hlavní část, což je blok řízení pneumatiky a další bloky nezbytné pro správný chod celé aplikace (obr. 32.).

V bloku řízení pneumatiky se dá zvolit jeden ze tří režimu provozu. První variantou je manuální spuštění automatického provozu (manual). Druhou možností je spuštění automatického provozu v závislosti na nastaveném čase (time) a jako poslední je manuální ovládání obou os sloužící pro manipulaci bez vypnutí přívodu vzduchu na hlavním uzávěru (pneu).

K tomu aby všechny tyto režimy probíhaly správně je nutno vyčítat data z analogových a digitálních vstupů a zapisovat na digitální výstup měřicí karty. Hodnota napětí na teplotním senzoru je měřena na analogovém vstupu. Pomocí exponenciálního vyhlazování je odstraněno kolísání měřených hodnot.

V bloku časový spouštěč se porovnává aktuální čas s nastaveným časem, pokud se shodují je spuštěn automatický režim měření. Pro automatické provozy měření je nezbytné před samotným spuštěním nastavit požadavky měření, což jsou hledané, ustálené napětí a požadovaný počet cyklů.

V průběhu obou automatických provozů se v určitém místě programu detekuje, zda je měřené analogové napětí ustáleno, a to tak že se porovnává aktuální napětí s hodnotou ustáleného napětí nastavenou před samotným měřením. Dále se pak detekuje hledané napětí, detekce se provádí opět porovnáváním aktuálního napětí se zadaným hledaným napětím. Program se také při detekci ustáleného a hledaného napětí přizpůsobuje tomu, jestli se aktuální napětí přibližuje k hledanému nebo ustálenému napětí zdola, popřípadě shora.



Obr. 32. Blokové schéma řídicího softwaru

Doba mezi ponořením senzoru do měřicí lázně, tedy sepnutím koncovým snímačem D a detekováním ustáleného napětí je doba odezvy. V bloku měření doby odezvy je tato doba měřena pomocí bloku *Elapsed time* reprezentující stopky využívající vnitřní čas PC.

Následně jsou data ukládána do souboru. V průběhu celého měření se také ukládají jednotlivé vzorky měřeného analogového signálu v závislosti na čase v rozmezí 25ms. V průběhu automatických provozů jsou neustále počítány cykly, po přesáhnutí nastaveného požadovaného počtu cyklů je celé měření ukončeno. V průběhu automatických chodů je informativně zabezpečeno, že když jakýmkoliv způsobem nezaznamená koncový snímač do určité doby válec, vyskočí informativní hláška o chybě.

5.2.1 Řízení pneumatiky

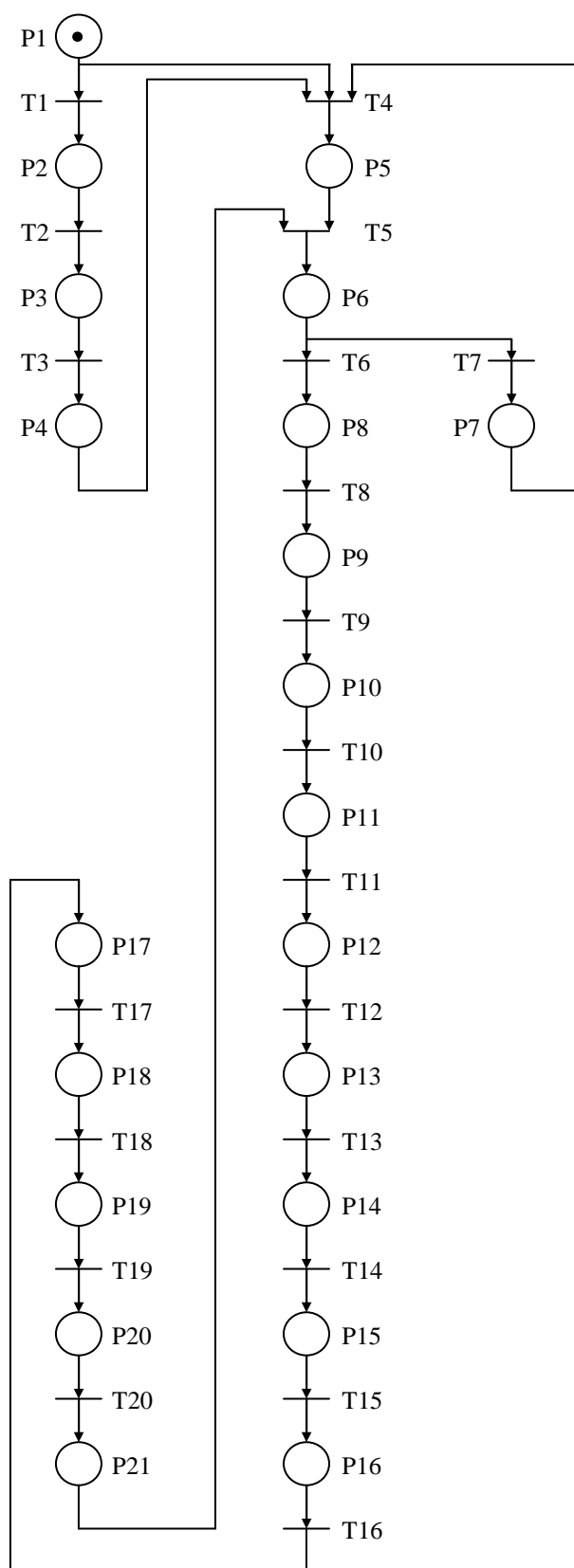
Jak již bylo výše uvedeno, jedná se o tři typy režimů, dva jsou automatické a jeden je manuální. První je automatický režim s ručním spuštěním (manual), druhý je automatický režim s časovým spuštěním (time) a poslední je manuální režim ovládání pohybu obou os pneumatiky (pneu). Tyto 3 režimy se volí pomocí *text Ring* napojeného na strukturu *case*. Všechny tři režimy jsou napsány ve *formula node* v jazyku C. V následujícím textu jsou tyto 3 režimy popsány pomocí Petriho sítě (obr. 33, 34 a 35).

Automatický režim s manuálním spouštěním (manual):

Po výběru automatického režimu s manuálním spouštěním se nejprve nastaví inicializační hodnoty statusů os a úvodní viditelnost tlačítka nastavení výchozí polohy (hooming). Následuje inicializace neviditelnosti tlačítka start, nastavení spouštěcího času a ručního ovládání tlačítek v režimu pneu. Poté se podle koncových snímačů A a C provede vyhodnocení zda jsou pohony umístěny ve výchozí poloze, která je vlevo nahoře. Pokud je tak učiněno změně se viditelnost tlačítek start, výchozí poloha a sepnou se elektromagnetické relé pro pohyb nahoru a doleva. Program je nyní připraven pro spuštění měření po stisknutí tlačítka start. Jestliže tomu tak není, a koncové snímače A a C nevyhodnocují „log. 1“, čeká program na spuštění tlačítka výchozí polohy, které má za úkol spustit část programu, která přesune oba válce do výchozí pozice vlevo nahoře a to bezpečným způsobem tak, že nejprve vyjede vertikální osa nahoru a poté horizontální osa doleva. Po celou tu dobu je softwarově drženo tlačítko výchozí polohy a po detekci výchozí polohy (snímače A a C), je softwarově vypnuto. Poté se změně viditelnost tlačítek start, výchozí polohy a sepnou se elektromagnetické relé pro pohyb nahoru a doleva.

Program je připraven na spuštění. Po celou dobu pohybu obou os je jednoznačně identifikována poloha obou válců buď pomocí 2 koncových snímačů a jednoho statusu pamatujícího si poslední přesun, v klidové poloze. Nebo pomocí jednoho koncového snímače a dvou statusů pamatujících si poslední dva přesuny a to pokud jsou válce přemísťovány. Tlačítkem start se sepne automatický režim, nejprve se vyhodnotí, zda je požadovaný počet cyklů větší než aktuální počet cyklů. Pokud ano, sjede vertikální pohon dolů, po zaznamenání na koncovém senzoru D, že je senzor teploty ponořen v kapalině, spustí se část programu detekující nastavené ustálené napětí. Pokud je vyhodnoceno, že měřené napětí na teplotním senzoru je ustáleno, vysune se vertikální pohon nahoru, poté horizontální pohon doprava a následně se vertikální pohon spustí dolů do druhé lázně. Zde má docházet k měření doby odezvy. Po zaznamenání koncovým snímačem D, že je senzor ponořen, se spustí část programu detekující hledané napětí a zároveň se spustí program měřící čas. Po zaznamenání hledaného napětí se změřený čas zobrazí na monitoru a uloží se do souboru. Následně se vertikální osa vysune zpět nahoru a poté horizontální osa doprava do výchozí polohy. Nyní se opět porovnává aktuální počet cyklů s požadovaným a na základě toho se vertikální pohon opět posune dolů a program pokračuje v měření. Pokud se zjistí, že aktuální počet cyklů je roven požadovanému počtu, je celý automatický režim ukončen softwarovým vypnutím tlačítka start a vymazáním paměti pro aktuální počet cyklů. Obě osy zůstanou ve výchozí pozici a čekají na další spuštění.

Po dobu všech přesunů os je spuštěn program, detekující chybu přesunu a to tak, že porovnává čas přesunu s nastaveným časem. Pokud se při přesouvání něco stane a pohon do určité doby nedojede do koncového snímače, je uživatel je informován o chybě. [9]



Obr. 33. Petriho síť automatického režimu s manuálním spouštěním

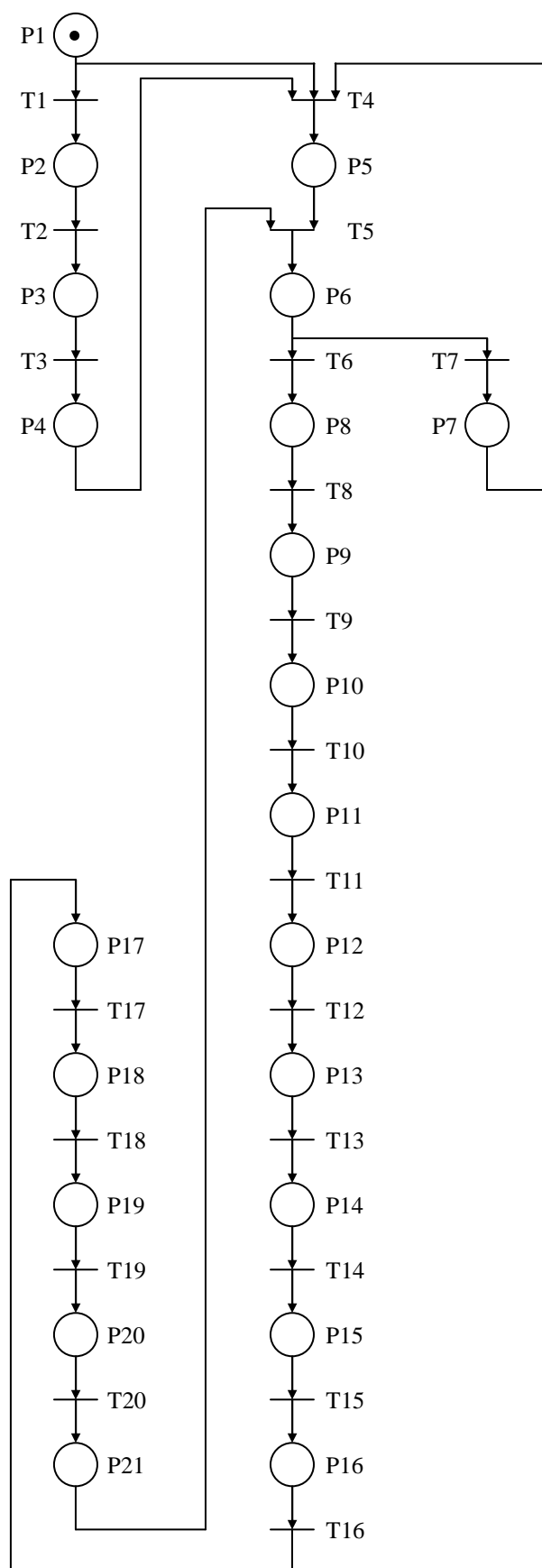
Tab. 8. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě automatického režimu s manuálním spouštěním

P1	Inicializace (resetování klopných obvodů, nastavení statusů os)
T1	$A \neq 1 \ \& \ C \neq 1$? (dorazové snímače A a C, horizontálně vlevo a vertikálně nahoře)
P2	$Vis_hooming=1$, $Vis_start=0$ (viditelnost tlačítka hooming a neviditelnost start)
T2	$Hooming=1$? (tlačítko provedení hoomingu)
P3	$Y1=0, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $end_hooming=1$ (vertikální osa vyjede nahoru, tlačítko hooming je softwarově sepnuto)
T3	$C=1$? (snímač horní vertikální pozice)
P4	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $end_homing=1$ (vertikální osa je držena nahoře a horizontální se posune doleva, tlačítko hooming je softwarově sepnuto)
T4	$A=1 \ \& \ C=1$?
P5	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0, Vis_hooming=0, Vis_start=1$ (Válce jsou umístěny vlevo nahoře, viditelnost tlačítka start a neviditelnost hooming)
T5	$Start=1$? (tlačítko spuštění měření)
P6	$Vis_hooming=0, Vis_start=1$ (viditelnost tlačítka start a neviditelnost hooming)
T6	$A=1 \ \& \ C=1 \ \& \ statusY1=1 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ Ppocet_cyklu > Apocet_cyklu$?(dorazové snímače A a C, statusy zaznamenávající poslední pohyby os, porovnávání aktuálního cyklu s požadovaným – pokračování programu)
P7	$statusY3=0, delete_cyklus=1, porucha=0, end_start=0$ (vymazání aktuálního počtu cyklů, softwarové vypnutí tlačítka start, konec měření)
T7	$A=1 \ \& \ C=1 \ \& \ statusY1=1 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ statusY4=0 \ \& \ Ppocet_cyklu \leq Apocet_cyklu$? (dorazové snímače A a C, statusy zaznamenávající poslední pohyby os, porovnávání aktuálního cyklu s požadovaným – konec programu)
P8	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1, statusY3=0, statusY4=1, cyklus=1, R_ustaleno=1, porucha=0, end_start=1$ (pneumatika se přesune z výchozí pozice vlevo nahoře dolů, nastaví se status detekující pohyb v daném směru, proměnná cyklus je v 1 pro přičtení jednoho cyklu programu, resetování RS klopného obvodu pro detekci ustálení, tlačítko start je softwarově sepnuto)
T8	$A=1 \ \& \ statusY1=1 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ statusY3=0 \ \& \ statusY4=1$?(snímač A a statusy přesunu válců)
P9	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1, cyklus=0, R_ustaleno=0, porucha=1, end_start=1$ (válec jede ve vertikální poloze dolů, příprava RS klopného obvodu pro signál na S, zapnutí detekce poruchy)
T9	$A=1 \ \& \ D=1 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ statusY3=0 \ \& \ statusY4=1$?(vertikální pohon je přesunut dole)
P10	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1, merit=1, statusY1=0, porucha=0, end_start=1$ (pohon je držen vlevo dole, měří se ustálení napětí, vypnutí detekce poruchy)
T10	$A=1 \ \& \ D=1 \ \& \ statusY1=0 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ statusY4=1 \ \& \ ustaleno=1$?(jeli pohon vlevo dole a je ustáleno měřené napětí)
P11	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0, merit=0, statusY3=1, porucha=0, end_start=1$ (vertikální pohon jede nahoru, měření ustálení je vypnuto, detekce poruchy je vypnuta)
T11	$A=1 \ \& \ statusY1=0 \ \& \ statusY2=0 \ \& \ statusY3=1 \ \& \ statusY4=1$? (snímač A a statusy přesunu válců)
P12	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0, porucha=1, end_start=1$ (válec jede ve vertikální poloze nahoru, zapnutí detekce poruchy)
T12	$A=1 \ \& \ C=1 \ \& \ statusY1=0 \ \& \ statusY3=1$? (vertikální osa došla nahoru)
P13	$Y1=0, Y2=1, Y3=1, Y4=0, statusY2=1, statusY4=0, R_ustaleno=1, porucha=0, end_start=1$ (přesun horizontální osy zleva doprava, resetování RS pro detekci ustálení napětí)

T13	C=1 & statusY1=0 & statusY2=1 & statusY3=1 & statusY4=0 ? (snímač C a statusy přesunu válců)
P14	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1 (horizontální osa je přesunována zleva doprava, zapnutí detekce poruchy)
T14	B=1 & C=1 & statusY1=0 & statusY2=1 ? (pohon je vpravo nahoře)
P15	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1,statusY3=0,statusY4=1,R_zmereno=1,porucha=0,end_start=1 (přesun vertikálního válce dolů, resetování RS pro detekci hledaného napětí)
T15	B=1 & statusY1=0 & statusY2=1 & statusY3=0 & statusY4=1 ? (snímač B a statusy přesunu válců)
P16	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1,R_zmereno=0,porucha=1,end_start=1 (vertikální osa je přesouvána dolů, příprava RS pro signál na S, detekce poruchy)
T16	B=1 & D=1 & statusY1=0 & statusY3=0 & statusY4=1 ? (vertikální pohon je přesunut vpravo dole)
P17	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1,statusY2=0,merit=2,porucha=0,end_start=1 (pohon je držen vpravo dole, měří se čas dokud se nedetekuje hledané napětí)
T17	B=1 & D=1 & statusY1=0 & statusY2=0 & statusY4=1 & zmereno=1 ? (jeli pohon vpravo dole a je detekováno hledané napětí)
P18	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,statusY3=1,merit=0,porucha=0,end_start=1 (vertikální pohon jede nahoru, měření doby odezvy je vypnuto, detekce poruchy je vypnuta)
T18	B=1 & statusY1=0 & statusY2=0 & statusY3=1 & statusY4=1 ? (snímač B a statusy přesunu válců)
P19	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1 (válec jede ve vertikální poloze nahoru, zapnutí detekce poruchy)
T19	B=1 & C=1 & statusY2=0 & statusY3=1 ? (pohon je vpravo nahoře)
P20	Y1=1,Y2=0,Y3=1,Y4=0,statusY1=1,statusY4=0,R_zmereno=1,porucha=0,end_start=1 (přesun horizontálního válce zprava doleva, resetování RS pro detekci hledaného napětí)
T20	C=1 & statusY1=1 & statusY2=0 & statusY3=1 & statusY4=0 ? (snímač C a statusy přesunu válců)
P21	Y1=1,Y2=0,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1 (válec jede v horizontální poloze zleva doprava, zapnutí detekce poruchy)

Automatický režim s časovým spouštěním:

Tento automatický režim s časovým spouštěním se od předchozího spouštění liší pouze v názvu některých prosměňůch a v tom že se automatické měření nespouští jen tlačítkem start, ale závisí i na časovém spouštěči. Ten se aktivuje, pokud se nastavený čas ve formátu hh:mm rovná aktuálnímu času. Celý chod aplikace a vlastnosti jsou pak stejné jako u manuálního spouštění. [9]



Obr. 34. Petriho síť automatického režimu s časovým spouštěním

Tab. 9. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě automatického režimu s časovým spouštěním

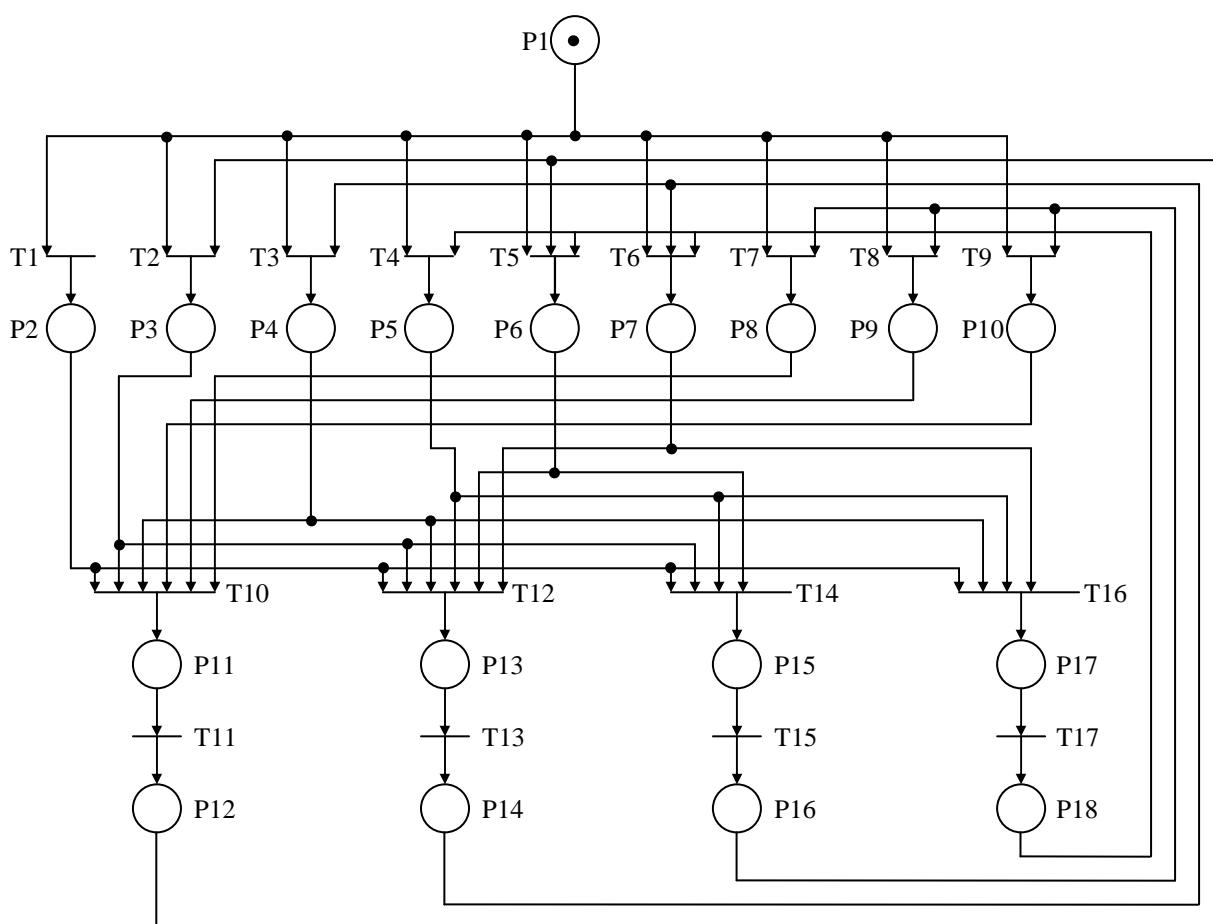
P1	Inicializace (resetování klopných obvodů, nastavení statusů os)
T1	$A \neq 1 \ \& \ C \neq 1$? (dorazové snímače A a C, horizontálně vlevo a vertikálně nahoře)
P2	$Vis_hooming=1$, $Vis_start=0$ (viditelnost tlačítka hooming a neviditelnost start)
T2	$Hooming=1$? (tlačítko provedení hoomingu)
P3	$Y1=0, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $end_hooming=1$ (vertikální osa vyjede nahoru, tlačítko hooming je softwarově sepnuto)
T3	$C=1$? (snímač horní vertikální pozice)
P4	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $end_homing=1$ (vertikální osa je držena nahoře a horizontální se posune doleva, tlačítko hooming je softwarově sepnuto)
T4	$A=1 \ \& \ C=1$?
P5	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $Vis_hooming=0$, $Vis_start=1$ (Válce jsou umístěny vlevo nahoře, viditelnost tlačítka start a neviditelnost hooming)
T5	$Start=1 \ \& \ timestart$? (tlačítko spuštění měření a status rovnosti času)
P6	$Vis_hooming=0$, $Vis_start=1$ (viditelnost tlačítka start a neviditelnost hooming)
T6	$A=1 \ \& \ C=1 \ \& \ timestatusY1=1 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ Ppocet_cyklu > Apocet_cyklu$?(dorazové snímače A a C, statusy zaznamenávající poslední pohyby os, porovnávání aktuálního cyklu s požadovaným – pokračování programu)
P7	$timestatusY3=0$, $delete_cyklus=1$, $porucha=0$, $end_start=0$, $end_timestart=0$ (vymazání aktuálního počtu cyklů, softwarové vypnutí tlačítka start, resetování RS timestart konec měření)
T7	$A=1 \ \& \ C=1 \ \& \ timestatusY1=1 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ timestatusY4=0 \ \& \ Ppocet_cyklu \leq Apocet_cyklu$? (dorazové snímače A a C, statusy zaznamenávající poslední pohyby os, porovnávání aktuálního cyklu s požadovaným – konec programu)
P8	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1$, $timestatusY3=0$, $timestatusY4=1$, $cyklus=1$, $R_ustaleno=1$, $porucha=0$, $end_start=1$, $end_timestart=1$ (pneumatika se přesune z výchozí pozice vlevo nahoře dolů, nastaví se status detekující pohyb v daném směru, proměnná cyklus je v 1 pro přičtení jednoho cyklu programu, resetování RS klopného obvodu pro detekci ustálení, tlačítko start je softwarově sepnuto, neresetování RS timestart)
T8	$A=1 \ \& \ timestatusY1=1 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ timestatusY3=0 \ \& \ timestatusY4=1$?(snímač A a statusy přesunu válců)
P9	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1$, $cyklus=0$, $R_ustaleno=0$, $porucha=1$, $end_start=1$, $end_timestart=1$ (válec jede ve vertikální poloze dolů, příprava RS klopného obvodu pro signál na S, zapnutí detekce poruchy)
T9	$A=1 \ \& \ D=1 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ timestatusY3=0 \ \& \ timestatusY4=1$?(vertikální pohon je přesunut dole)
P10	$Y1=1, Y2=0, Y3=0, Y4=1$, $merit=1$, $timestatusY1=0$, $porucha=0$, $end_start=1$, $end_timestart=1$ (pohon je držen vlevo dole, měří se ustálení napětí, vypnutí detekce poruchy)
T10	$A=1 \ \& \ D=1 \ \& \ timestatusY1=0 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ timestatusY4=1 \ \& \ ustaleno=1$?(jeli pohon vlevo dole a je ustáleno měřené napětí)
P11	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $merit=0$, $timestatusY3=1$, $porucha=0$, $end_start=1$, $end_timestart=1$ (vertikální pohon jede nahoru, měření ustálení je vypnuto, detekce poruchy je vypnuta)
T11	$A=1 \ \& \ timestatusY1=0 \ \& \ timestatusY2=0 \ \& \ timestatusY3=1 \ \& \ timestatusY4=1$? (snímač A a statusy přesunu válců)
P12	$Y1=1, Y2=0, Y3=1, Y4=0$, $porucha=1$, $end_start=1$, $end_timestart=1$ (válec jede ve vertikální

	poloze nahoru, zapnutí detekce poruchy)
T12	A=1 & C=1 & timestatusY1=0 & timestatusY3=1 ? (vertikální osa došla nahoru)
P13	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,timestatusY2=1, timestatusY4=0,R_ustaleno=1,porucha=0, end_start=1,end_timestart=1 (přesun horizontální osy zleva doprava, resetování RS pro detekci ustálení napětí)
T13	C=1 & statusY1=0 & timestatusY2=1 & timestatusY3=1 & timestatusY4=0 ? (snímač C a statusy přesunu válců)
P14	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1,end_timestart=1 (horizontální osa je přesouvána zleva doprava, zapnutí detekce poruchy)
T14	B=1 & C=1 & timestatusY1=0 & timestatusY2=1 ? (pohon je vpravo nahoře)
P15	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1, timestatusY3=0, timestatusY4=1,R_zmereno=1,porucha=0, end_start=1,end_timestart=1 (přesun vertikálního válce dolů, resetování RS pro detekci hledaného napětí)
T15	B=1 & timestatusY1=0 & timestatusY2=1 & timestatusY3=0 & timestatusY4=1 ? (snímač B a statusy přesunu válců)
P16	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1,R_zmereno=0,porucha=1,end_start=1,end_timestart=1 (vertikální osa je přesouvána dolů, příprava RS pro signál na S, detekce poruchy)
T16	B=1 & D=1 & timestatusY1=0 & timestatusY3=0 & statusY4=1 ? (vertikální pohon je přesunut vpravo dole)
P17	Y1=0,Y2=1,Y3=0,Y4=1,statusY2=0,merit=2,porucha=0,end_start=1,end_timestart=1 (pohon je držen vpravo dole, měří se čas dokud se nedetekuje hledané napětí)
T17	B=1 & D=1 & timestatusY1=0 & timestatusY2=0 & timestatusY4=1 & zmereno=1 ? (jeli pohon vpravo dole a je detekováno hledané napětí)
P18	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0, timestatusY3=1,merit=0,porucha=0,end_start=1,end_timestart=1 (vertikální pohon jede nahoru, měření doby odezvy je vypnuto, detekce poruchy je vypnuta)
T18	B=1 & timestatusY1=0 & timestatusY2=0 & timestatusY3=1 & timestatusY4=1 ? (snímač B a statusy přesunu válců)
P19	Y1=0,Y2=1,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1,end_timestart=1 (válec jede ve vertikální poloze nahoru, zapnutí detekce poruchy)
T19	B=1 & C=1 & timestatusY2=0 & timestatusY3=1 ? (pohon je vpravo nahoře)
P20	Y1=1,Y2=0,Y3=1,Y4=0, timestatusY1=1, timestatusY4=0,R_zmereno=1,porucha=0, end_start=1,end_timestart=1 (přesun horizontálního válce zprava doleva, resetování RS pro detekci hledaného napětí)
T20	C=1 & timestatusY1=1 & timestatusY2=0 & timestatusY3=1 & timestatusY4=0 ? (snímač C a statusy přesunu válců)
P21	Y1=1,Y2=0,Y3=1,Y4=0,porucha=1,end_start=1,end_timestart=1 (válec jede v horizontální poloze zleva doprava, zapnutí detekce poruchy)

Manuální režim ovládání pneumatiky:

Tento režim reprezentuje manuální ovládání pohybu pneumatických válců ve čtyřech směrech pomocí tlačítek nahoru, dolů, doprava a doleva. Program je nastaven tak že nedovoluje pohyb pneumatiky doleva nebo doprava pokud je vertikální pohon dole. Tím je kopírován pohyb automatického režimu a je tak odstraněn problém s náhodnými překážkami v dolní poloze. Takto je zajištěno bezpečné přesouvání.

Po spuštění tohoto režimu se nejprve provede inicializační nastavení statusů os. Provede se neviditelnost tlačítek výchozí polohy, start a časového spouštěče. Následně se podle dat na koncových snímačích nastaví viditelnost tlačítek nahoru, dolů, doprava a doleva. Po spuštění libovolného viditelného tlačítka z těchto výše uvedených se horizontální nebo vertikální válec přesune požadovaným směrem. Po celou dobu přesunu je tlačítko softwarově drženo sepnuto. Po dojetí do koncové polohy se opět nastaví viditelnost tlačítek nahoru, dolů, doprava a doleva. Celý proces se může neustále opakovat dokud uživatel nepřepne do jiného režimu. [9]



Obr. 35. Petriho síť manuálního režimu ovládání pneumatiky

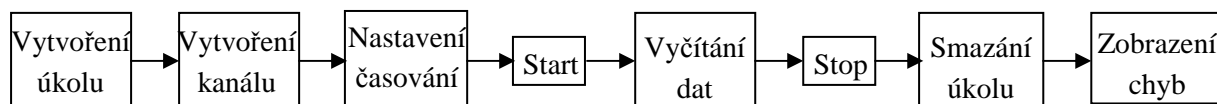
Tab. 10. Tabulka popisu jednotlivých částí Petriho sítě ručního ovládání pneumatiky

P1	Inicializace (nastavení statusů os, neviditelnost hooming, start, časový spouštěč)
T1	$A=0 \ \& \ B=0 \ \& \ C=0 \ \& \ D=0$? (dorazové snímače A a C, horizontálně vlevo, vertikálně nahoře)
P2	Visible=15 (Viditelnost ovládacích tlačítek nahoru-1, dolů-2, doprava-4, doleva-8 =15)
T2	$A=1 \ \& \ B=0 \ \& \ C=0 \ \& \ D=0$? (dorazový snímač A, horizontálně vlevo)
P3	Visible=7 (Viditelnost ovládacích tlačítek nahoru, dolů, doprava)
T3	$A=0 \ \& \ B=1 \ \& \ C=0 \ \& \ D=0$? (dorazový snímač B, horizontálně vpravo)
P4	Visible=11 (Viditelnost ovládacích tlačítek nahoru, dolů, doleva)
T4	$A=0 \ \& \ B=0 \ \& \ C=1 \ \& \ D=0$? (dorazový snímač C, vertikálně nahoře)
P5	Visible=14 (Viditelnost ovládacích tlačítek dolů, doprava, doleva)
T5	$A=1 \ \& \ B=0 \ \& \ C=1 \ \& \ D=0$? (dorazové snímače A a C, horizontálně vlevo, vertikálně nahoře)
P6	Visible=6 (Viditelnost ovládacích tlačítek dolů, doprava)
T6	$A=0 \ \& \ B=1 \ \& \ C=1 \ \& \ D=0$? (dorazové snímače B a C, horizontálně vpravo, vertikálně nahoře)
P7	Visible=10 (Viditelnost ovládacích tlačítek dolů, doleva)
T7	$A=0 \ \& \ B=0 \ \& \ C=0 \ \& \ D=1$? (dorazový snímač D, vertikálně dole)
P8	Visible=1 (Viditelnost ovládacího tlačítka nahoru)
T8	$A=1 \ \& \ B=0 \ \& \ C=0 \ \& \ D=1$? (dorazové snímače A a D, horizontálně vlevo, vertikálně dole)
P9	Visible=1 (Viditelnost ovládacího tlačítka nahoru)
T9	$A=0 \ \& \ B=1 \ \& \ C=0 \ \& \ D=1$? (dorazové snímače B a D, horizontálně vpravo, vertikálně dole)
P10	Visible=1 (Viditelnost ovládacího tlačítka nahoru)
T10	Nahoru? (sepnuto tlačítko nahoru)
P11	Visible=1, PstatusY1=0, PstatusY2=0, PstatusY3=1, PstatusY4=0, Y3=1, Y4=0, endnahoru=1 (viditelnost tlačítka nahoru, nastavení statusu, vertikální osa jede nahoru, držení tlačítka nahoru)
T11	C=1? (Pohon je nahoře)
P12	Y3=1, Y4=0, endnahoru=0 (Softwarové vypnutí tlačítka nahoru)
T12	Dolů? (sepnuto tlačítko dolů)
P13	Visible=2, PstatusY1=0, PstatusY2=0, PstatusY3=1, PstatusY4=0, Y3=0, Y4=1, enddolu=1 (viditelnost tlačítka dolů, nastavení statusu, vertikální osa jede dolů, držení tlačítka dolů)
T13	D=1? (Pohon je dole)
P14	Y3=0, Y4=1, enddolu=0 (Softwarové vypnutí tlačítka dolů)
T14	Doprava? (sepnuto tlačítko doprava)
P15	Visible=4, PstatusY1=0, PstatusY2=0, PstatusY3=1, PstatusY4=0, Y1=0, Y2=1, enddoprava=1 (viditelnost tlačítka doprava, nastavení statusu, horizontální osa jede doprava, držení tlačítka doprava)
T15	B=1? (Pohon je vpravo)
P16	Y1=0, Y2=1, enddoprava=0 (Softwarové vypnutí tlačítka doprava)
T16	Doleva? (sepnuto tlačítko doleva)
P17	Visible=8, PstatusY1=0, PstatusY2=0, PstatusY3=1, PstatusY4=0, Y1=1, Y2=0, enddoleva=1 (viditelnost tlačítka doleva, nastavení statusu, horizontální osa jede doleva, držení tlačítka doleva)
T17	A=1? (Pohon je vlevo)
P18	Y1=1, Y2=0, enddoleva=0 (Softwarové vypnutí tlačítka doleva)

5.2.2 Čtení AI, vyhlazování

Ke čtení analogového vstupu se používá standardní měřicí řetězec využívaný v LabVIEW. Na obr. 36. je blokové schéma měřicího řetězce pro čtení AI.

K získávání dat ze vstupních členů je nutné vytvořit úkol a v něm pak kanál. Dále pak následuje časování, zde se nastavuje časování čtení vzorku. Následuje spuštění měření a vyčítání měřených dat. Poté se úkol ukončí stopem, vymaže se a případně se zobrazí možné chyby.



Obr. 36. Blokové schéma čtení AI

Vytvoření úkolu

Úkol nebo také jinak řečeno měřicí úloha pro vstupní, nebo výstupní data, je nezbytný prostředek pro komunikaci mezi I/O daty a prostředím LabVIEW. Pro měření analogového vstupu je tedy nezbytné vytvořit úkol. Pokud by se pro více AI využívalo stejné časování a úroveň spouštění, lze použít jeden úkol a jeden kanál. Pokud se však časování a úroveň spouštění liší, používá se více kanálů v jednom úkolu. Nelze však uvést více úkolů, jen více kanálů. Pro vyčítání jednoho senzoru připojeného na analogovém vstupu je použit jeden úkol a jeden kanál.

Vytvoření kanálu

Tento blok obsahuje zásadní informace o vytvoření virtuálního kanálu. Nastavují se zde vlastnosti jako fyzická adresa kanálu na měřicí kartě např. Dev1ai0, dále pak typ veličiny (analogová, digitální,..., vstupní, výstupní). Následuje volba měřené veličiny jako napětí, proud, odpor a mnoho dalších. K těmto veličinám se pak definuje jednotka a její maximální a minimální rozsah. Dalším nezbytným a velice důležitým prvkem je způsob připojení měřeného signálu, tedy jakým způsobem je uzemněn zdroj signálu. K tomuto účelu lze vybrat mezi 3 módy pro připojení měřicího signálu a to RSE, NRSE a diferenční. Každý z těchto módů má své výhody a nevýhody co se týče přesnosti měření a odstranění souhlasného rušivého napětí. Podle toho, zda je zdroj signálu plovoucí nebo uzemněný se volí typ módu. K měření napětí na senzoru je zvolen RSE mód, měření je vztaženo k systémové analogové zemi, snímač je připojen na vstup karty ACH4 a AIGND. Při použití RSE sice není odstraněno souhlasné rušivé napětí, nicméně při použití ostatních metod je nutno použít rezistory pro zajištění klidové proudové pracovní úrovně.

Časování

Pro většinu aplikací je hardwarové časování výhodnější než softwarové. Je to převážně z toho důvodu, že se mnohem méně zatěžuje výkon počítače. V tomto bloku se nastavuje jakým způsobem časovat jednotlivé vzorky měřených dat (nastavení Sample Clock). Lze zvolit několik typů vzorkování, v tomto případě se využívá kontinuální sběr dat za pomoci vyrovnávací paměti (bufferu). Nastavuje se velikost již zmíněné vyrovnávací paměti a počet vyčtených vzorků na kanál, z toho pak vyplývá vzorkovací frekvence. Při nastavení 20kS vyrovnávací paměti a 500 vzorků na kanál je nastavena frekvence vzorkování na hodnotu 25ms. Důležité je, aby vyčítání vzorků z vyrovnávací paměti nebylo pomalejší než ukládání do vyrovnávací paměti, tím by vyrovnávací paměť přetekla a celý princip měření by selhal.

Start a Stop

Tyto funkce mají za úkol spouštět a zastavovat úkol, kdyby nebyly použity, spouštělo by se měření dat automaticky při spuštění vyčítání dat. Začátek a konec čtení dat z vyrovnávací paměti by se tak neustále spouštěl a snížil by se výkon aplikace.

Vyčítání dat

Umístění tohoto bloku musí být ve smyčce, aby byly neustále zobrazovány vyčítané vzorky. Nastavuje se zde reprezentace vyčítaných dat, je nastaveno analogový signál, jeden kanál a více vzorků. Což znamená, že se čte analogová hodnota na jednom kanálu, která má více vzorků a výstupem tohoto vyčítání jsou data ve formátu waveform. Což jsou data v závislosti na čase počínaje časem t_0 a další pak v rozmezí dt . K tomu, aby data z vyrovnávací paměti byly čteny stejně rychle jako zapisovány, slouží nastavení počet vzorků na kanál. Často se volí stejné jako počet vzorků na kanál (500) u časování, nebo se nechává nezapojeno a tím si karta sama podle velikosti nastavené vyrovnávací paměti zvolí optimální vyčítání dat. Z výstupu jsou pak odebírána měřená data. Při testování byl zaznamenán problém s rušením na analogovém vstupu, tento problém byl odstraněn přidáním exponenciálního vyhlazování dat. Při exponenciálním vyhlazování se aktuální vzorek vypočítává podle vztahu (5.1)

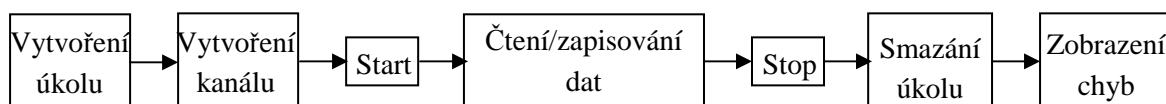
$$U_n = (1 - \alpha) \cdot u_n + \alpha \cdot U_{n-1}, \quad (5.1)$$

Kde U_n je aktuální vyhlazovaný vzorek, U_{n-1} je předchozí vyhlazovaný vzorek, u_n aktuální měřený vzorek a α je koeficient, který ovlivňuje váhu měřeného vzorku a minulého vyhlazeného vzorku. Doporučuje se volit α v rozmezí 0,7 až 1. V tomto případě bylo nastaveno α na 0,9, tzn. že vyhlazovaný vzorek se rovná 90 procentům předchozího vyhlazeného vzorku a 10 procent aktuálního měřeného vzorku. [5], [8], [19], [20]

5.2.3 Čtení a zápis DI/DO

Podobně jako u vyčítání analogového vstupu je i měření a ovládání digitálních vstupů a výstupů DI/DO složeno ze standardního řetězce. Tento používaný řetězec je blokově zobrazen na obr. 37.

Opět je nutno vytvořit úkol a v něm pak podle potřeby kanál, nebo kanály. Jelikož se jedná o digitální signály, tedy 0 nebo 5V, není nutno provádět časování jako u analogového vyčítání dat. Mezi spuštěním a ukončením úkolu je umístěn blok, ve kterém se buď vyčítají digitální data, nebo se zapisují na výstup měřicí karty. Na konci celého řetězce je pak standardně umístěno smazání úkolu a zobrazení chyb.



Obr. 37. Blokové schéma čtení/zapisování DI/DO

Vytvoření kanálu DI

Pro zjišťování aktuálního umístění pneumatického pohonu je nutno vyčítat data ze 4 koncových čidel. Jsou tedy použity 4DI na měřicí kartě. Byl tedy vytvořen kanál digitálních vstupů s fyzickou adresou Dev1/port1/line0:3, což znamená, že byl vytvořen jeden kanál zařízení 1 s šířkou portu čtyři (4 digitální vstupy karty DI0 - DI3). K tomuto připojení je nutno vybrat nastavení seskupení vstupů, jako jeden kanál pro všechny vstupy.

Vytvoření kanálu DO

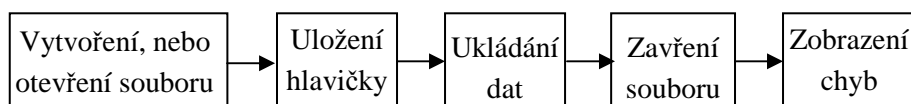
Pro ovládání elektromagnetických relé ovládající pneumatické ventily je nutno na digitální výstupy zapisovat „log 1“ a „log 0“. Je tedy nutno vytvořit kanál obsahující 4DO na měřicí kartě. Byl vytvořen kanál digitálních výstupů s fyzickou adresou Dev1/port1/line4:7. Byl vytvořen kanál na zařízení 1, který má na portu 1 čtyři tzv. linky (digitální výstupy s adresami na kartě DO4, DO5, DO6 a DO7). Opět je vybráno nastavení seskupení výstupů jako jeden kanál pro všechny výstupy.

Čtení/zapisování dat

Tento blok musí být umístěn ve smyčce umožňující neustálé vyčítání/zapisování dat. Opět se zde nastavuje reprezentace vyčítaných dat na digitální, jeden kanál, jeden vzorek a jedno rozměrné pole logických hodnot. V případě vyčítání dat se používá blok čtení, výstupem je pak pole dat obsahující informace o stavu na všech 4 digitálních vstupech. Pro zápis dat slouží blok zápis, do něhož se směřuje pole zapisovaných dat. [5], [19], [20]

5.2.4 Ukládání dat

Výstupem většiny řídicích aplikací jsou data uložena v určitém standardním formátu, jenž slouží pro archivaci naměřených dat, nebo pro následné statistické vyhodnocování. Obdobně je tomu i v tomto případě. Účelem této aplikace je vytvářet razantní teplotní změnu okolí a testovat tak dobu odezvy snímačů teploty. Je tedy nezbytné vytvořit program pro měření a následné ukládání již zmíněné doby odezvy. Další zaznamenávanou veličinou je aktuální měřené napětí na teplotním senzoru. Ve výsledku každého měření jsou tedy dva soubory ve formátu txt. (název.txt a název_Respo.txt). Na obr.38. je blokově znázorněno schéma zapisování naměřených dat.



Obr. 38. Blokové schéma ukládání naměřených dat

Vytvoření nebo otevření souboru

V prvním bloku vytvoření nebo otevření souboru se zapisuje celá cesta souboru i s příponou definující typ souboru (C:\název.txt, C:\název_Respo.txt). Dále se definují operace a akce prováděné se souborem. Mezi operace se zařazuje otevření, vytvoření nebo přepsání souboru a kombinace těchto možností. Daný soubor lze číst, zapisovat nebo obojí. V tomto bloku je nastavena operace otevřít nebo vytvořit a jako akce pouze zapisovat.

Uložení hlavičky

V dalším bloku který je mimo smyčku, takže se provádí pouze jednou se zapisuje hlavička souboru. Vytváří se zde řetězec obsahující požadované informace uložené v hlavičce souboru jako např. teplota a typ obou lázní, ustálené a požadované napětí a mnoho dalších. Všechny výše uvedené vlastnosti kromě data a názvu souboru při daném měření se nastavují před samotným měřením a to pomocí globálních proměnných. Pokud je ukládáno aktuální napětí v závislosti na čase, má první sloupeček nadpis čas a druhý napětí [V]. Při ukládání doby odezvy má druhý řádek nadpis Response Time [s].

Ukládání dat

Při ukládání dat do souboru se opět vytváří řetězec charakterizující ukládána data. Pro aktuální hodnotu napětí se generuje aktuální čas a k tomu vyhlazená hodnota napětí. Pro ukládání doby odezvy se po jeho výpočtu generuje signál, který spustí uložení změřené doby. [5], [19], [20]

6. Popis uživatelského rozhraní

Celý program se spustí otevřením Respo_pneu.vi., poté se zobrazí uživatelské menu se 3 tlačítky. Tlačítkem Konec se ukončí celý běh programu. Dále jsou zde tlačítka Nastavení a Měření (obr. 38.).



Obr. 38. Uživatelské menu

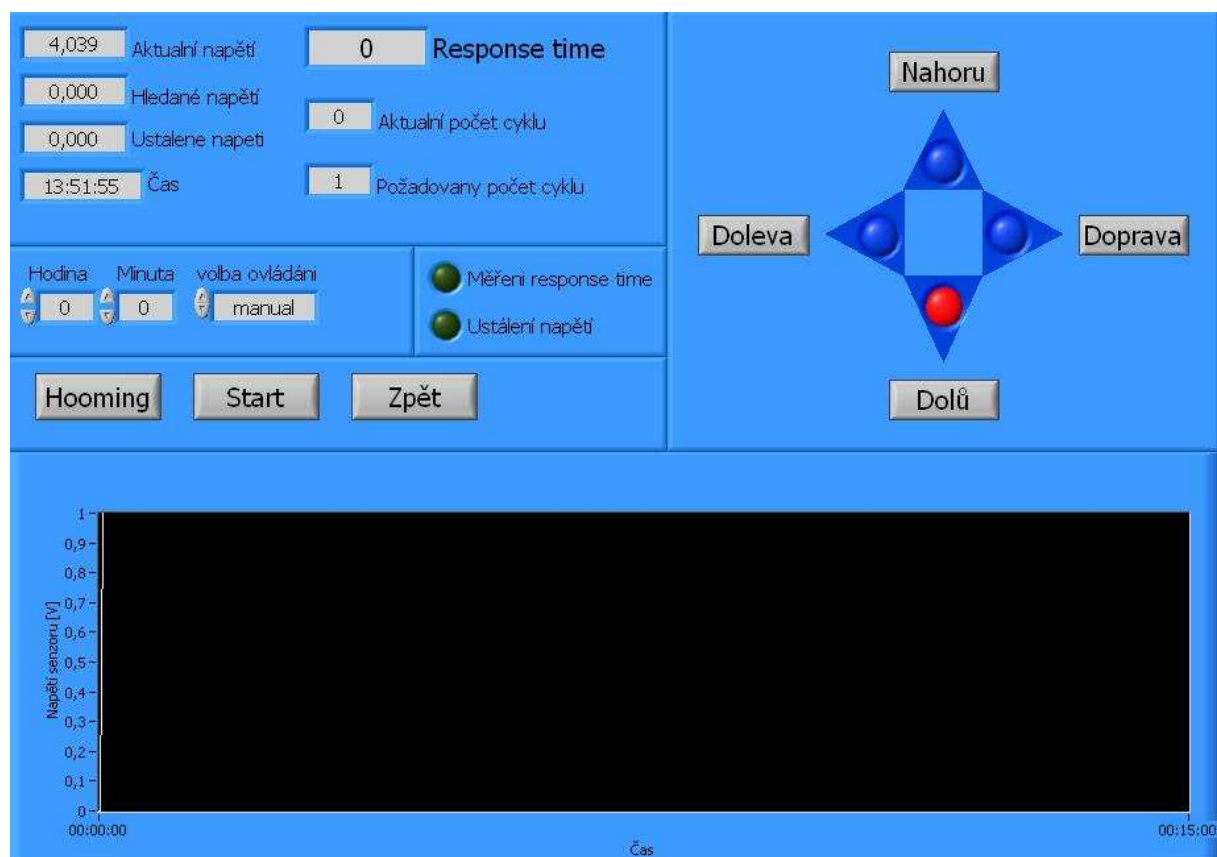
Kliknutím na tlačítko nastavení se otevře okno, ve kterém se nastavují informace ohledně měření (obr. 39.). Obrazovka je rozdělena na dvě části. V horní polovině jsou nepovinné informace, které neovlivňují samotné měření. Data nastavená v dolní polovině jsou nutná pro správné nastavení chodu celé aplikace. Jedná se o ustálené napětí, hledané napětí a požadovaný počet cyklů měření. Všechny tyto uvedené informace se ukládají do hlavičky obou souborů. Tlačítkem zpět se otevře okno uživatelského menu.

Okno nastavení má modrou pozadí. Horní část je nadtitulována 'Nepovinné pro měření' a obsahuje šest vstupních polí: 'Název souboru', 'Číslo reportu', 'Měřený snímač', 'Rychlost pumpy [ot/min]' (s hodnotou 2500), 'Stabilizační médium' (s vybranou hodnotou 'glyckoshell') a 'Předřadný odpor [ohm]'. Dále jsou 'Měřicí médium' (s vybranou hodnotou 'glyckoshell') a 'Teplota stabilizačního média [°C]'. Spodní část je nadtitulována 'Povinné pro měření' a obsahuje tři posuvníky: 'Ustálené napětí [V]' (s hodnotou 0), 'Hledané napětí [V]' (s hodnotou 0) a 'Požadovaný počet cyklů' (s hodnotou 1). Na dně okna je tlačítko 'Zpět'.

Obr. 39. Okno nastavení

Po tomto nastavení je možno přejít k samotnému měření, spuštěním tlačítka měření se otevře okno na obr. 40. Poté se v podle nastaveného režimu a koncových snímačů nastaví viditelnosti tlačítek výchozí polohy (hooming), start, nahoru, dolů, doprava, doleva, hodina a minuta. Parametr hodina a minuta slouží pro nastavení spouštěcího času v režimu time. Tlačítka nahoru, dolů,

doprava, doleva slouží pro ruční ovládání pneumatiky. V levé horní části se zobrazují informace ohledně měření jako aktuální napětí, změřená doba odezvy a další. Ve hvězdě vpravo se červeným světlem informuje o směru posunu obou válců pneumatiky. Uprostřed se pak zeleným světlem uživateli oznamuje co je právě prováděno, zda se testuje ustalování napětí, nebo měření doby odezvy. V dolní části obrazovky je pak umístěn graf aktuálního napětí na teplotním odporovém senzoru v čase.



Obr. 40. Okno měření

7. Analýza naměřených dat

K vyhodnocení naměřených dat byly vybrány statistické metody výpočtu rozsahu, střední hodnoty, směrodatné odchylky a mediánu.

Rozsah je rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou a reprezentuje množinu, ve které se nacházejí naměřená data. Další metodou je vyhodnocení střední hodnoty. Střední hodnota je parametr rozdělení náhodné veličiny, který je definován jako průměr daného rozdělení.

Směrodatná odchylka vypovídá o tom, jak se od sebe liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti.

Poslední vyhodnocovanou veličinou je medián, jedná se o hodnotu, která rozdělí řadu naměřených a seřazených dat podle jejich velikosti na dvě stejně početné poloviny. Pokud má soubor sudý počet hodnot je medián vypočítán jako aritmetický průměr dvou prvků uprostřed souboru seřazených dat. Medián se používá jako odhad střední hodnoty, který minimalizuje absolutní chybu. Není ovlivněn extrémními hodnotami, proto je často využíván místo aritmetického průměru, který by dával chybné hodnoty.

K zobrazení rozdělení jednotlivých naměřených prvků byl použit histogram, jedná se o sloupcový graf, v němž každé zvolené třídě určíme její četnost. Naměřené hodnoty se rozdělí do několika skupin (tříd), počet prvků v každé skupině je pak četnost. [7]

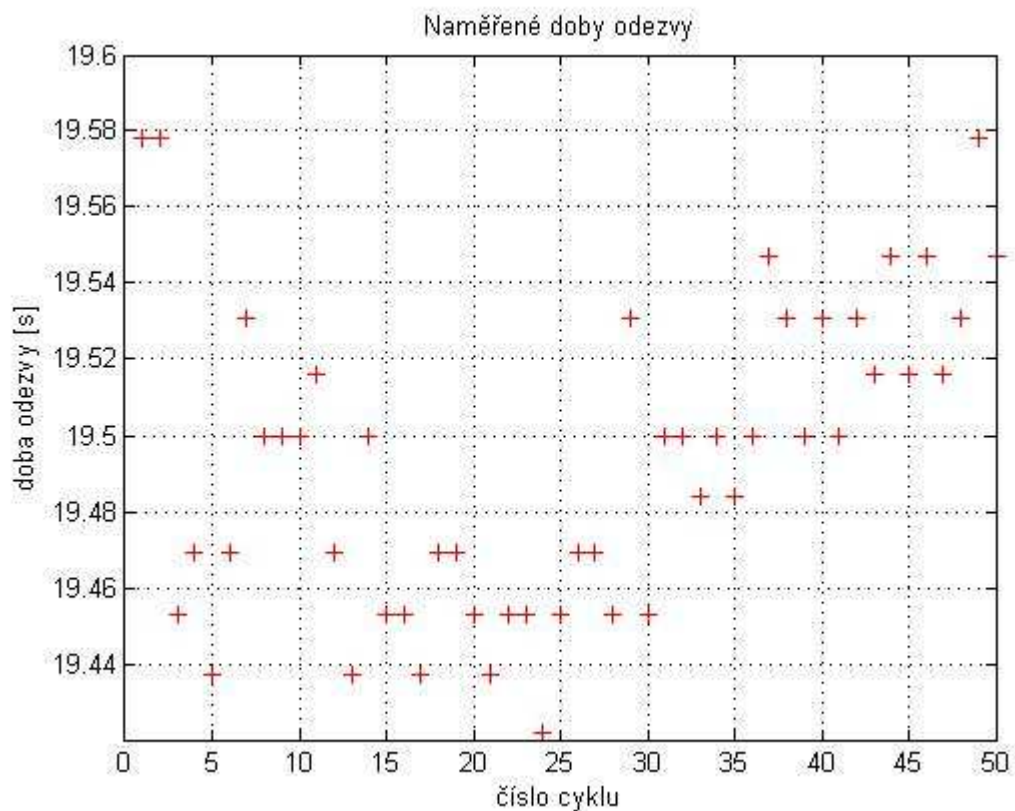
7.1 Měření 50 cyklů na NTC 43-5

Pro analýzu přesnosti naměřených dat pro firmu Continental byl vybrán NTC senzor s označením 43-5. Jedná se o napěťový odporový senzor teploty, dodávané napětí zdrojem je 5V k tomu je nutno přidat předřadný odpor o hodnotě 1000Ω , zapojení na obr. 4. Jako ustálené napětí bylo před měřením zvoleno 3,45V, hledané napětí je 1,0212V. Teplota stabilizační lázně je 20°C, teplota měřicí lázně pak 120°C. Obě média ve kterých byl senzor testován, je kapalina zvaná glycoshell. Rychlost pumpy nastavená na oběhovém čerpadlu kapaliny je 2500ot/min. Bylo provedeno 50 měřených cyklů pro co nejlepší statistické vyhodnocování. Na obr. 41. jsou zobrazeny první tři cykly měřeného napětí v čase. Část grafu, ve které napětí roste, je ustalování senzoru v lázni s 20°C, naopak část ve které napětí na senzoru prudce klesá, je měřená doba odezvy.



Obr. 41. Graf závislosti napětí měřeného senzoru NTC 43-5 na čase

Při 50 měřicích cyklů bylo získáno 50 hodnot dob odezvy, které byly následně statisticky vyhodnoceny. Na obr. 42. jsou tyto doby odezvy zobrazeny tak, jak byly postupně naměřeny po jednotlivých cyklech.



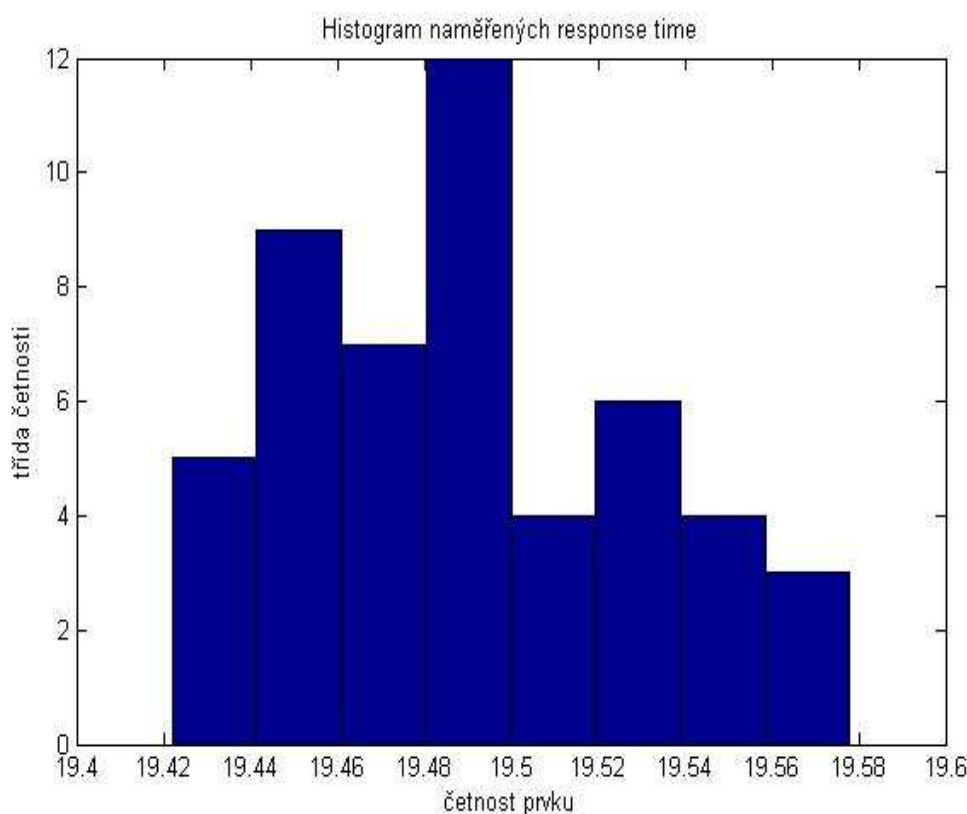
Obr. 42. Graf závislosti doby odezvy na cyklu měření

Mění se doba odezvy je zřejmě dána postupným ohříváním plastové části senzoru a změnou okolních podmínek, při vypařování kapalinového média po dobu měření, které trvalo kolem 1 hodiny. Na těchto naměřených hodnotách doby odezvy byl proveden základní statistický rozbor. Pomocí inženýrského nástroje Matlabu byly zjištěny následující hodnoty. Minimální a maximální hodnota, rozsah, střední hodnota, směrodatná odchylka a medián (tab. 11.).

Tab. 11. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 pro 50 cyklů

min	max	rozsah	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	medián
19,422	19,578	0,156	19,4934	0,0406	19,5

Následně byl vytvořen histogram naměřených dob odezvy (obr. 43.), změřené hodnoty byly rozděleny do 8 skupin četnosti prvku od $-\infty$ do 19,44 v rozsahu dvou setin 19,44-19,46 ... až po 14,56 do ∞ . [7]



Obr. 43. Histogram naměřených hodnot doby odezvy pro 50 cyklů senzoru 43-5

7.2 Vliv stálosti proudění na měření

V tomto testu byly provedeny měření na dvou senzorech s odlišnou dobou odezvy. Na každém z těchto senzorů bylo provedeno měření za použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média a bez použití tohoto čerpadla, ve výsledku je pak viděn znatelný vliv proudění na přesnost měření při 10 měřených cyklech.

7.2.1 Měření na NTC 43-4

Jedná se o napěťový teplotní senzor, dodávané napětí zdrojem je 5V. K tomu je nutno přidat předřadný odpor o hodnotě 1470Ω , zapojení na obr. 4. Jako ustálené napětí bylo před měřením zvoleno 3,2V, hledané napětí je 0,826V. Teplota stabilizační lázně je 20°C , teplota měřicí lázně pak 120°C . Obě média, ve kterých byl tento senzor testován, byly naplněny kapalinou glycoshell. Rychlost pumpy nastavená na oběhovém čerpadlu kapaliny je 2500ot/min. Následující tabulka ukazuje naměřené doby odezvy při použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média a bez použití tohoto čerpadla.

Tab. 12. Tabulka naměřených hodnot doby odezvy pro NTC 43-4

S konst. čerpadlem		Bez konst. čerpadla	
Číslo cyklu	Doba odezvy [s]	Číslo cyklu	Doba odezvy [s]
1	3,047	1	5,969
2	3,094	2	6,125
3	3,078	3	6,016
4	3,078	4	5,906
5	3,078	5	5,953
6	3,172	6	5,750
7	3,203	7	5,953
8	3,172	8	6,031
9	3,203	9	6,047
10	3,172	10	5,844

Pomocí matlabu byly zjištěny následující hodnoty minimální, maximální hodnoty, rozsahu, střední hodnoty, směrodatné odchylky a mediánu (tab.13. a 14.). Již z předchozí tabulky (tab. 12) je jasné vidět rozdíl v naměřených hodnotách a také v rozsahu naměřených hodnot. [7]

Tab. 13. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-4 s konst. čerpadlem

min	max	rozsah	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	medián
3,047	3,203	0,156	3,1297	0,0599	3,133

Tab. 14. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-4 bez konst. čerpadla

Min	max	rozsah	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	medián
5,75	6,125	0,375	5,9594	0,1073	5,961

7.2.2 Měření na NTC 43-5

Jedná se o napěťový teplotní senzor, dodávané napětí zdrojem je 5V k tomu je nutno přidat předřadný odpor o hodnotě 1000Ω , zapojení na obr. 4. Jako ustálené napětí bylo před měřením zvoleno 3,45V, hledané napětí je 1,0212V. Teplota stabilizační lázně je 20°C , teplota měřicí lázně pak 120°C . Obě média ve kterých byl tento senzor testován byly naplněny kapalinou glycoshell.

Rychlost pumpy nastavená na oběhovém čerpadlu kapaliny je 2500ot/min. Následující tabulka ukazuje naměřené doby odezvy při použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média a bez použití tohoto čerpadla.

Tab. 15. Tabulka naměřených hodnot doby odezvy pro NTC 43-5

S konst. čerpadlem		Bez konst. čerpadla	
Číslo cyklu	Doba odezvy [s]	Číslo cyklu	Doba odezvy [s]
1	19,562	1	22,672
2	19,469	2	22,312
3	19,453	3	22,375
4	19,453	4	22,359
5	19,422	5	22,312
6	19,422	6	22,452
7	19,391	7	22,578
8	19,437	8	22,625
9	19,437	9	22,500
10	19,437	10	22,500

Pomocí Matlabu byly zjištěny následující hodnoty minimální, maximální hodnoty, rozsahu, střední hodnoty, směrodatné odchylky a mediánu (tab.16. a 17.). Již z předchozí tabulky (tab. 15) je jasné vidět rozdíl v naměřených hodnotách a také v rozsahu naměřených hodnot. [7]

Tab. 16. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 s konst. čerpadlem

min	max	rozsah	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	medián
19,391	19,562	0,171	19,4483	0,0453	19,437

Tab. 17. Tabulka vypočítaných statistických údajů z NTC 43-5 bez konst. čerpadla

min	max	rozsah	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	medián
22,312	22,672	0,36	22,4685	0,129	22,4760

8. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvořit měřicí stanici doby odezvy teplotního senzoru za pomoci pneumatického systému, měřicí karty USB NI 6009 a Labview. Tato měřicí stanice je vytvořena pro firmu Continental ve Frenštátě pod Radhoštěm.

Nejprve jsem provedl analýzu předchozí ruční metody měření, která spočívá v ručním přesouvání měřeného snímače mezi lázněmi. Zásadní problém při přesouvání mezi lázněmi je ten, že nikdy nelze dosáhnout stejných podmínek při vynoření, přesunu a jeho opětovnému ponoření. Umístění senzoru v cirkulační lázni je pokaždé jiné a proudění kapaliny je v každém místě lázně odlišné. Čas přesunu mezi lázněmi, který by měl být při měření téměř stejný, je při ruční metodě rozdílný.

K tomuto účelu jsem ve spolupráci se zástupcem firmy FESTO navrhl dvouosý pneumatický systém, odstraňující nevyhovující ruční přesouvání teplotního senzoru mezi cirkulačními lázněmi HUBER s rapidně odlišnou teplotou silikonového oleje. Hlavním problémem při návrhu pneumatického systému byl požadovaný čas přesunu mezi oběma lázněmi a pomalé ponořování a vynořování senzoru. Čas přesunu byl firmou Continental požadován menší než dvě sekundy, čehož bylo nakonec docíleno. Zajištěním pomalého vynořování a ponořování senzoru do silikonového oleje se mělo odstranit vystřikování média. Vystřikování nakonec nebylo tak značné, ale do budoucna bych doporučil vytvořit určitou ochranu. Při použití pneumatického systému teď ponořování probíhá za stejných podmínek, které jsou dány použitím tohoto systému. Dalším problémem bylo uchycení celého systému. Při přesouvání z levé do pravé krajní polohy dochází v koncových polohách k nárazu. Bylo tedy nezbytně nutné, aby celý pneumatický systém byl pevně uchycen do nosné zdi. Toto uchycení za pomoci výškově nastavitelného nosníku se bude v následující době dále vylepšovat. Jednotlivé lázně mají odlišnou výšku hladiny. Pro správný chod aplikace bylo nezbytně nutné sjednotit výšku obou hladin, hrubé nastavení výšky celého systému lze provést za pomoci výškově nastavitelného nosníku uchyceného v nosné zdi. Pro uchycení teplotního senzoru byl vytvořen držák, který je uchycen k vertikálnímu pohonu. Také tato část se bude dále doplňovat o nejrůznější tvary a velikosti úchyty pro testované senzory. Takto navrhnutý pneumatický systém byl zkonstruován a uveden do provozu.

Následně jsem přikročil k tvorbě elektronického převodníku pro úpravu úrovně napětí pro elektromagnetické ventily a koncové snímače. Obě tyto části jsou připojeny k měřicí kartě USB NI 6009. Elektronické zapojení bylo realizováno na univerzální jednostranné předvrtané DPS. Ta byla umístěna do konstrukčního boxu. Propojení mezi konstrukčním boxem, pneumatickým systémem a měřicí kartou je provedeno pomocí dvou 25pinových konektorů CANON.

Poté jsem přikročil k tvorbě řídicí aplikace. Úkolem řídicí aplikace je automaticky přesouvat testovaný senzor teploty mezi lázněmi. K tomuto účelu jsem vytvořil 3 režimy ovládání, manuálně spouštěný, časově spouštěný a manuálně ovládaný režim. Na analogovém vstupu se vyčítá napětí na senzoru teploty, pomocí digitálních vstupů a výstupů se ovládá pneumatický systém. Výstupem řídicí aplikace jsou dva textové soubory. V jednom je uloženo měřené napětí na senzoru v závislosti na čase a v druhém pak vypočítané doby odezvy. Řídicí aplikace je vytvořena tak, že interaktivně mění

viditelnost tlačítek podle toho, co je právě prováděno. Je tak značně zjednodušeno uživatelské ovládání celého systému.

Po doladění řídicí aplikace jsem přistoupil k testování odporových teplotních senzorů a statistickému vyhodnocování výsledků. Bylo provedeno testování přesnosti naměřených hodnot a vliv použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média. Pro testování přesnosti naměřených hodnot byl zvolen senzor teploty NTC 43-5, bylo provedeno 50 měřených cyklů. Výsledné naměřené doby odezvy jsou v rozsahu hodnot 0,156s, což je radikální zlepšení vůči ruční metodě měření. Měření těchto 50 cyklů trvalo kolem jedné hodiny, takováto stálost výsledků je důkazem o vysoké opakovatelnosti měření. Při testování vlivu použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média byly provedeny měření pro dva odlišné NTC senzory. V obou případech bylo docíleno stejných výsledků. V případě použití čerpadla jsou rozsahy neměřených dob odezvy u obou senzorů téměř stejné (0,156s a 0,171s). Pokud čerpadlo nebylo použito, byl na stejných senzorech naměřen rozsah hodnot dob odezvy přibližně o dvě desetiny vyšší (0,375s a 0,36s). V obou případech byly bez použití čerpadla naměřeny hodnoty doby odezvy až o 3s vyšší. Pro další testování bych tedy jednoznačně doporučil testovat senzory za použití čerpadla pro konstantní proudění kapalinového média.

Závěrem bych rád zhodnotil svůj celkový dojem z této diplomové práce. Velice si považuji praktických zkušeností získaných s prací na pneumatickém systému a беру to jako velkou zkušenost do budoucna. Co se týče nástrojů firmy National Instruments bylo vše v naprostém pořádku a bez problému.

Použitá literatura

- [1] KREIDEL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřicí obvody*. 1. vyd.. Praha : BEN, 2005. 239 s. il. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] MICHALSKI, L., ECKERSDORF, K., KUCHARSKI, J., MCGHEE, J.. *Temperature Measurement*. [s.l.] : John Wiley & Sons, 2002. 518 s. ISBN 0471867799.
- [3] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. 1. vyd.. Praha : BEN, 1999. 159 s. : il. ISBN 80-86056-66-X (brož.).
- [4] HOOPER, Jay F. *Basic Pneumatics*. [s.l.] : Carolina Academic Press, 2003. 118 s. ISBN -10 0890891192.
- [5] HAVLÍČEK, Josef, VLACH, Jaroslav, VLACH, Martin. *Začínáme s Labview*. 1. vyd. Praha : BEN, 2008. 247 s. : il. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [6] POPELKA, Martin. *Technické výkresy v AutoCADu*. 1 vyd. Praha : Computer Press, 2003. 185 s. ISBN 80-7226-559-8.
- [7] BÍLKOVÁ, Diana, BUDINSKÝ, Petr, VOHÁNKA, Václav. *Pravděpodobnost a statistika*. 1. vyd. Praha : BEN, 2010. 640 s. ISBN 978-80-7380-224-0.
- [8] ANDĚL, J. *Statistické metody*. 1. vyd. Praha : Matfyzpress, 1998. 274 s. ISBN 80-85863-27-8.
- [9] ČEŠKA, Milan. *Petriho síť: Úvod do teorie a nástrojů pro aplikaci Petriho sítí*. Brno : Akad.nakl. CERM, 1994. 94 s. ISBN 8-085-86735-4.
- [10] FROHN, Manfred, et al. *Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení*. 1. české vydání. Praha : BEN, 2006. 480 s. ISBN 80-7300-123-3.
- [11] ČSN IEC 751. *Průmyslové platinové odporové snímače teploty*. [s.l.] : [s.n.], 1994. 20 s.
- [12] SROVNAL, Vilém. *Základy kybernetiky*. VŠB - Technická Univerzita Ostrava : [s.n.], 2007. 247 s.
- [13] *Data sheet CC- 410wl* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2009-02-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.huber-online.com>>.
- [14] *Lázně a cirkulační termostaty HUBER* [online]. 2010 [cit. 2010-02-09]. Dostupné z WWW: <http://old.merci.cz/katalog/pristroje-pro-ohrev-a-chlazení/229_uvodni-informace>.
- [15] *USB Data Acquisition* [online]. 2010 [cit. 2010-01-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/dataacquisition/usb/>>.
- [16] *Data sheet USB NI 6009* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2008-01-01]. Dostupné z WWW: <www.ni.com>.
- [17] *USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI USB-6008/6009* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2008-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/manuals/>>.
- [18] *Pneumatické pohony* [online]. 2010 [cit. 2010-01-01]. Dostupné z WWW: <http://www.festo.com/cms/cs_cz/9457.htm>.
- [19] *NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II Series (NI ELVIS II Series) User Manual* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2009-01-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/manuals/>>.
- [20] *Začínáme s labview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2006-01-01]. Dostupné z WWW: <www.ni.com>.
- [21] *LM78L05* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2006-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LM/LM78L05.pdf>>.
- [22] *Google* [online]. 1998 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: <www.google.com>.

Seznam příloh

Příloha č.1 Seznam pneumatických komponentů.....	I
Příloha č.2 Testované snímače teploty	II
Příloha č.3 Vertikální pneumatický pohon.....	III
Příloha č.4 Elektromagnetické ventily	IV
Příloha č.5 Hlavní ventil přívodu vzduchu.....	V
Příloha č.6 Čerpadlo konstantního proudění kapalinového média	VI
Příloha č.7 Nosník pneumatického systému.....	VII
Příloha č.8 Držák pneumatického systému	VIII
Příloha č.9 Příložené DVD.....	IX